

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Katedra bezpečnosti práce a procesů

**Měření výskytu nanočástic v pracovním ovzduší se
zaměřením na dřevozpracující a strojírenský
průmysl**

Student: Bc. Ondřej Chromečka

Vedoucí DP: Ing. Petra Roupcová, Ph.D.

Konzultant DP: doc. Ing. et Ing. Karel Klouda, CSc., Ph.D., MBA

Studijní obor: Bezpečnostní inženýrství

Termín odevzdání DP: 16. 4. 2021

Anotace

CHROMEČKA, O.: *Měření výskytu nanočástic v pracovním ovzduší se zaměřením na dřevozpracující a strojírenský průmysl*. Diplomová práce, Ostrava, VŠB – TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, 2021, 60 s. Vedoucí práce: Roupcová P.

Diplomová práce se zabývá problematikou nanočástic v pracovním ovzduší. V první části rozebírá základní pojmy potřebné k pochopení samotného tématu a nastiňuje dvojí pohled na nanotechnologie, jelikož kromě širokého využití sebou nesou i jistá rizika. Dále popisuje konkrétní nebezpečí pro lidské zdraví spojená s inhalací nanočástic. Experimentální část popisuje jednotlivé materiály, které jsou používány ve vybraných podnicích. Dále prezentuje a komentuje naměřené výsledky početních koncentrací nanočástic a jejich středních průměrů s cílem zjistit, jak velkému množství nanočástic jsou vystavováni zaměstnanci na pracovištích. V závěrečné části pak prezentuje výsledky s možnými návrhy na opatření pro eliminaci výskytu nanočástic.

Klíčová slova: nanočástice, pracovní prostředí, zdravotní rizika, dřevo, ocel, průmysl

Summary

CHROMEČKA, O.: *Nanoparticles measurement in the working atmosphere with a focus on the woodworking and engineering industries*. Diploma thesis, Ostrava, VŠB - TU Ostrava, Faculty of Safety Engineering, 2021, 60 p. Thesis head: Roupcová P.

The diploma thesis deals with the issue of nanoparticles in the working atmosphere. In the first part, it analyses the basic concepts needed to understand the topic itself and describes a double view of nanotechnology, because besides to its widespread use, it also carries certain risks. It further describes the specific risks to human health associated with the inhalation of nanoparticles. The experimental part describes materials that are used in selected companies. It also presents and comments the measured results of numerical concentrations of nanoparticles and their mean diameters in order to determine how large number of nanoparticles are exposed to employees in the workplace. In the final part, it presents the results with possible proposals for elimination the occurrence of nanoparticles.

Key words: nanoparticles, working environment, health risks, wood, steel, industry

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval své vedoucí diplomové práce Ing. Petře Roupkové, Ph.D. za odborné vedení, pomoc a cenné rady při zpracovávání diplomové práce, panu doc. Ing. et Ing. Karlu Kloudovi, CSc., Ph.D., MBA za věcné připomínky, a především odbornou pomoc při realizaci této práce. Dále bych rád poděkoval zástupcům firem Metrostav a Iktus za jejich ochotu s námi spolupracovat a za umožnění vstupu do areálů jejich podniků.

Obsah

| | |
|--|----|
| Úvod..... | 1 |
| 1 Nanosvět v kostce..... | 2 |
| 1.1 Vzestup nanočástic napříč léty..... | 2 |
| 1.2 Rozdělení a vlastnosti nanočástic..... | 3 |
| 1.3 Dvojnáčnost problematiky nanočástic..... | 6 |
| 1.4 Rizika nanomateriálů a nanotechnologií pro lidské zdraví..... | 10 |
| 2 Původ a specifika vybraných materiálů..... | 14 |
| 2.1 Ocel..... | 14 |
| 2.2 Dřevo..... | 17 |
| 3 Experimentální část..... | 19 |
| 3.1 Zvolená strategie měření..... | 19 |
| 3.2 Použité měřicí přístroje..... | 21 |
| 3.3 Metrostav a.s., Divize 3, Praha 9 – Horní Počernice..... | 22 |
| 3.4 Výroba nábytku ve společnosti IKTUS, Zátor..... | 37 |
| 3.5 Vyhodnocení měření..... | 43 |
| 3.6 Závěry měření..... | 45 |
| 3.7 Návrh na poskytnutí OOPP v prostředí s rizikem výskytu nanočástic..... | 46 |
| 3.8 Kontrolní listy z měření..... | 52 |
| Závěr..... | 56 |
| Seznam grafů..... | 58 |
| Použitá literatura..... | 59 |

Úvod

Nanočástice a nanomateriály za poslední roky ušly dlouhou cestu s velmi strmým a rychlým vzestupem a dá se předpokládat, že ještě ani zdaleka neřekly své poslední slovo. Nesčetné výhody těchto moderních materiálů napříč různorodými odvětvími pomohly vyřešit různá technická, ale i uživatelská úskalí a často si to nemáme ani šanci uvědomit, ale právě částice takto malého rozměru nás obklopují každý běžný den. Mnoho věcí, které denně běžně používáme mohly být vyrobeny právě nějakou technikou využívající vlastnosti hmoty v nanorozměrech. I vzduch, co dýcháme obsahuje běžně nanočástice, ale obsahoval je již od nepaměti. To až moderní pokrok nám umožňuje zkoumat do absolutních detailů svět kolem nás. Jsou to totiž právě nanočástice, které kromě nesporných výhod naskýtají také mnoho rizik, jak už tomu bývá s příchodem jakýchkoli jiných moderních inovací a technologií, a na ty nesmíme zapomínat.

Tato diplomová práce se kromě obecného nastínění problematiky nanočástic zaměřuje především na jejich výskyt v reálném pracovním prostředí. Cílem této diplomové práce bylo provést měření koncentrace nanočástic z antropogenní činnosti, kde nanočástice vznikají jako nechtěný odpad. Byly vytipovány dva provozy, kdy se v jednom případě jednalo o nanočástice na bázi kovů, a v druhém to byly nanočástice organického původu, konkrétně ze dřeva. Při práci byla aplikovány postupy normy ISO/TR 27 628 – Workplace atmospheres – Ultrafine, nanoparticle and nanostructured aerosols – Inhalation exposure characterization and assessment s cílem identifikovat klíčová místa daných podniků, které produkovaly největší množství nanočástic a na závěr byl uskutečněn návrh na poskytnutí ochranných pracovních prostředků v prostředí s rizikem výskytu nanočástic dle certifikované metodiky Ministerstva práce a sociálních věcí.

1 Nanosvět v kostce

1.1 Vzestup nanočástic napříč léty

Nanotechnologie jsou často popisovány jako „převratný“ nebo „revoluční“ potenciál vzhledem k dopadům na postupy průmyslové výroby, a to především kvůli vývoji menších, lehčích, rychlejších a výkonnějších materiálů, konstrukčních částí a systémů. Díky tomu tak nabízí řešení mnoha současných technologických problémů a zároveň otevírá možnosti pro inovace a nová pracovní místa. Od nanotechnologií se tak očekává, že významně přispějí k řešení rozmanitých globálních a ekonomických problémů tím, že budou vytvářeny výrobky a procesy s konkrétnějším využitím, dojde k ušetření zdrojů a sníží se množství odpadů a emisí. Již od 90. let minulého století dochází v rámci celosvětového snažení v oboru nanotechnologií k významným pokrokům a investuje se do velkého množství různých výzkumných programů. Buduje se tím především silná znalostní základna. Je však potřeba zajistit, aby tyto znalosti byly dostatečně přetaveny v nové výrobky a technologie, které významnou mírou pomohou samotným lidem, ale zejména průmyslu. [1]

Pokusíme-li si představit velikost běžné nanočástice v každodenním životě, je vhodným příkladem lidský vlas. Jeho průměr je přibližně 60 μm . Kdybychom měli kapalnou kulovou částici právě takového průměru, mohlo by se jejím tříštěním získat 1 milion identických kulových částic o průměru 600 nm, potažmo 1 miliardu částic o průměru 60 nm, při zachování stejné hmotnosti. Tento příklad poskytuje jasnou představu o tom, jak významný je počet částic například v určitém objemu vzduchu. Je tedy zřejmé, že 1 miliarda částic, kterou by člověk mohl vdechnout, představuje pro jeho zdraví větší ohrožení nežli jedna částice o velikosti průměru lidského vlasu. Je pravděpodobnější, že taková částice pronikne například hlouběji do plic, či do buňky organismu než běžná částice. Celková hmotnost vdechnutého aerosolu pak nemá žádný význam, v obou případech by byla stejná. [2,3]

Samotný pojem nanomateriál, a především jeho definici zavedla Evropská komise v doporučení 2011/696/EU z 18. října 2011. Tato definice se tak mohla začít obecně používat pro všechny právní předpisy Evropské unie, které se těmito materiály měly zabývat. Definice je založena na vědeckých poznatcích zjištěných do roku 2011 a podle ní se: *„nanomateriálem rozumí přírodní materiál, materiál vzniklý jako vedlejší produkt nebo materiál vyrobený obsahující částice v nesloučeném stavu nebo jako agregát*

či aglomerát, ve kterém je u 50 % nebo více částic ve velikostním rozdělení jeden nebo více vnějších rozměrů v rozmezí velikosti 1 nm — 100 nm.“ [3,5]

1.2 Rozdělení a vlastnosti nanočástic

Podle velikosti částic se definují následovně:

- **Hrubé částice** (*Coarse Particles*) – jsou takové částice, které mají aerodynamický průměr mezi 10 až 2,5 μm . Označují se jako PM_{10} . Tyto částice se řadí mezi největší pravidelně monitorované částice v ovzduší. Vznikají nejčastěji z [6]:

- zemské kůry (oxidy křemíku, hliníku, železa, vápníku, draslíku a titanu)
- uhlíkatých materiálů – procesem spalování
- vody
- biologických materiálů (např. viry, spory, pyl a další)
- dusičnanů (vznik při oxidaci NO a NO_2)
- síranů (vznikající oxidací SO_2)

Mezi hrubými částicemi se taktéž vyskytují i oxidy chloru, barya, manganu a dalších.

- **Jemné částice** (*Fine Particles* – FP) – jsou částice s aerodynamickým průměrem 2,5 μm a menší. Jejich označení je $\text{PM}_{2,5}$. Většinou bývají složeny z velice podobných sloučenin jako částice hrubé. Mezi sloučeniny patří sírany, dusičnany, voda, oxidy původem ze zemské kůry nebo amoniak. Avšak také existují i prvky (a také jejich sloučeniny), které se vyskytují pouze ve formě FP - např. olovo nebo síra. [6]

- **Nanočástice** jsou takové částice, u kterých je nejméně jeden rozměr menší než 100 nm. Bývají vyrobeny cíleně pomocí nanotechnologie. Odtud pramení označení inženýrské nanočástice/nanomateriály neboli „ing-částice“ a ENP nebo ENM (*Engineered Nanoparticles, Engineered Nanomaterials*). Inženýrské částice se vyrábějí s rozměry a vlastnostmi podle požadavků. Produkují a syntetizují se pro využití hlavně v oblastech chemického průmyslu, stavebnictví, elektroniky, automobilového průmyslu, ale také optického průmyslu, textilního odvětví, potravinářství, kosmetiky, hygieny, medicíny apod. Běžně se vyrábějí syntézou nebo rozmělněním (drcením, mletím). Mezi synteticky vyráběné nanomateriály se řadí např. uhlíkové nanotrubic, fullerény (pro výrobu plastů, baterií, elektrod), nanomateriály obsahující kovy (nanostříbro – obvazy, zubní pasty, filtry), oxidy kovů jako např. TiO_2 , ZnO – solární články, barvy, opalovací krémy, kosmetika

nebo dendrimery (takové polymery, které mohou být dále ovlivněny, a užívají se v biologii, farmacii, při výrobě barevných brýlí atd.). [6]

- **Ultrajemné částice** (*Ultrafine Particles*, zkráceně UFP) jsou ty částice, jejichž aerodynamický průměr je méně než 100 nm. Označují se $PM_{0,1}$. Tyto částice nebývají cíleně vyráběny, i tak jsou ovšem jejich vlastnosti závislé na shodných parametrech jako částice uměle vyráběné. Co se týče rozměrů, tyto částice jsou nejmenší v atmosféře. Pro představu chemického složení UFP jsou to např. černý uhlík, dusičnany, sírany nebo též amonný kation (NH_4^+). Obsaženy mohou být taktéž stopové množství kovů, např. niklu, železa, vanadu či olova. [7]

Pojem, se kterým se lze často setkat napříč všemi prameny právě v problematice nanočástic je **aerosol**. Ten se dá definovat jako soubor tuhých, kapalných nebo smíšených částic o velikosti v rozsahu 1 nm až 100 μm rozptýlených ve vzduchu. Aerosoly se obvykle skládají z jevů, jako např. prach, dým, kouř, mlha, oblak, smog. Částice v ovzduší představují různorodou směs rozličné velikosti a původu, organického a anorganického složení s komplexním toxickým a karcinogenním potenciálem. Nemusí se jednat o samotné nebezpečí spojené s chemickou podstatou vlastních částic, ale také ze schopnosti vázat na svůj povrch nebezpečné činitele, jakými jsou různé chemické látky nebo mikroorganismy. [2, 6]

Aerosoly se dají rozdělit podle způsobu jejich vzniku v atmosféře na primární a sekundární.

- **Primární** jsou ty, které mají přímé zdroje. Těmito zdroji mohou být např.: minerální prachové částice, které vznikají v přírodě zvětráváním a erozí půdy, částice ze spalovacích procesů, částice mořské soli z oceánských vod nebo pyly a spory z biologických zdrojů. [6]

- **Sekundární** částice jsou v ovzduší produkovány konverzí plynů na částice. Zde patří velké množství částic tvořených anorganickými látkami, mezi nimi například sírany a dusičnany. Sírany vznikají oxidací oxidů síry, převážně oxidu siřičitého (SO_2), dusičnany pak oxidací oxidu dusíku (NO_x). [6]

Nanočástice jsou, jak již název napovídá, malé, ale vůbec ne jednoduché molekuly. Skládají se ze tří vrstev – první vrstvy povrchové, z pláště a z jádra. Dále se nanočástice mohou dělit do několika kategorií v závislosti na jejich morfologii, velikosti

nebo chemických vlastnostech. Nanomateriály se běžně charakterizují pomocí společných znaků, které jsou závislé na jejich velikosti. Základní struktura je tvořena stavebními jednotkami, kterými mohou být [2, 6]:

- nanočástice definovaných vlastností – mezi tyto vlastnosti se řadí tvar, chemické složení, atomová struktura atd. Rozměry takovýchto částic jsou stanoveny v rozmezí od molekul k pevným částicím menším než 100 nm;
- velmi různorodě uspořádané shluky v makroskopických materiálech – částice s chemicky identickým složením mohou být těsně uspořádané, samostatné nebo mohou podléhat koalescenci, což označuje proces splývání disperzních částic ve větší celky. Mohou vytvářet nanodrátky, nanotrubice nebo jiné tenké filmy či vrstvy;
- souvislé celky, které mohou být využity pro vznik rozměrnějších struktur a materiálů vhodných například pro technické aplikace. [2]

Vlastnosti nanočástic ovlivňuje primárně jejich rozměr a také jejich schopnost vytvářet větší celky neboli agregáty. Tento princip platí pro plynné prostředí (tzn. v ovzduší) i pro kapalně, přičemž v kapalném je do jisté míry omezen v důsledku obalení částic molekulami kapaliny a sdílení povrchového napětí s molekulami kapaliny. V ovzduší mají rozptýlené nanočástice tendenci chovat se obdobně jako molekuly plynů. Díky svým hodně malým rozměrům a hmotnostem nedochází k sedimentaci a zůstávají tak ve vzduchu delší dobu. Toto platí zejména při nízkých koncentracích, při těch vyšších nanočástice podléhají agregaci. Základem procesu agregace je vzájemné srážení jednotlivých částic, které se tím spojují do větších celků. Při takové situaci dochází k růstu střední velikosti částic. Taková agregace, při které vznikají shluky volně vázaných částic, se nazývá flokulace. Flokulaci lze chápat jako vratnou reakci, takže agregáty mohou být opět převedeny zpět na koloidní systém (ve vodných systémech se pro nanočástice používá obecný termín koloid). Tento proces je nazýván peptizace. V opačném případě se také může stát, že dojde k přechodu na pevnější shluky. Při ději nazývaném koagulace vznikají agregáty pevně vázaných částic. Koagulace ovšem není vratná a tyto vytvořené koaguláty není možné zpětně peptizovat čili převést opět na koloidní systém. Dojde-li k dosažení určité velikosti agregátu, nastává proces sedimentace, tudíž zanikne disperzní systém. Samotná agregace je děj velmi rychlý a spontánní a podle toho, jaká je koncentrace aerosolu, mohou jednotlivé nanočástice

podléhat agregaci již několik málo vteřin po svém vzniku. V souvislosti s tím současně vzniká mnoho větších agregátů a z aerosolu mizí velké množství malých částic. [2, 4, 5]

1.3 Dvojznačnost problematiky nanočástic

Dvojznačnost, jinak řečeno dvojakost nebo ambivalence, je pojem, který byl zaveden Eugenem Bleuerem v oboru psychologie na začátku 20. století. Označuje se tak stav, kdy má jedinec současně zcela protichůdné pocity. I takto se dá nahlížet na nekontrolovatelný rozvoj nanočástic a práci s nimi. Ačkoli je třeba mít na paměti nesporné kladné využití této technologie (např. medicína – diagnostika, léčba) a je jistým způsobem na místě uznat, že pokrok je vhodný, zároveň je to věc, kterou běžným okem nevidíme. Nabízí se zde paralela s viry (rovněž mají rozměry v nanometrech), které běžně nevidíme, což může vést ke stavu ambivalence. [11]

Princip toho, proč se nanomateriály chovají odlišně zjednodušeně spočívá v tom, že fyzikálně-chemické vlastnosti pevných látek nejsou stejné uvnitř materiálu a na jeho povrchu. Pokud je částice daného materiálu o velikosti pod 100 nm, začínají převládat fyzikálně-chemické vlastnosti povrchu nad vlastnostmi daného materiálu a částice se začne chovat tak, jako by celá byla tvořena jen povrchem. Jeden z nejvýraznějších jevů tohoto procesu je podstatné zvýšení chemické reaktivity, jejímž důsledkem může být i změna toxicity. [11]

Zároveň je nutné podotknout, že nanočástice našly své uplatnění již dlouho před tím, než uživatelé doopravdy zjistili jejich podstatu (skláři, keramika – glazury, chemická katalýza, metalurgie, výroba sazí apod.), tudíž realitou je, že se zde nanočástice nacházejí od nepaměti. Vznikají hojně také při erupcích sopek, požárech, chemickým rozkladem organických látek, antropogenní činností (tj. spalování fosilních paliv – tepelné elektrárny, spalovací motory atd.) a samozřejmě také vznikají cíleně v laboratořích nebo ve výrobě. [11]

Díky možnostem moderní chemie a fyziky je možno v oblasti nanotechnologií přecházet k novým typům experimentů, a to ne ve stylu zmenšování mikroobjektů postupem „TOP-DOWN“ (miniaturizace je i za použití suprakulových mlýnů je na hranici svých možností), ale naopak ve smyslu výstavby nanoobjektů z atomů a malých molekul. Stavba těchto objektů je svou podstatou založena na intra a intermolekulárních nevazebných interakcích s cílem vytvořit supramolekulární komplexy o velikosti nanočástic. Takový přístup vychází z principu zvaný „BOTTOM UP“ (tzn. směrem vzhůru). Úspěch výsledného

uspořádání závisí na vhodné architektuře stavebních prvků, ploše a vhodné orientaci funkčních skupin. [11]

Velmi důležitým faktorem, který výrazně přispěl k vývoji nanotechnologií vzhledem k rozměrům nanočástic, který se nachází pod hranicí optického rozlišení, byl vynález elektronového mikroskopu. Ten umožnil spatřit a identifikovat trojrozměrnou strukturu nanočástic. Později v 80. a 90. letech 20. století došlo ke konstrukčním změnám elektronového mikroskopu, a to umožnilo spolu s dalšími technikami instrumentální analýzy identifikovat a prokázat řadu originálních struktur nanomateriálů a výskyty nanočástic v prostoru. [11]

Celá nanotechnologie je interdisciplinární vědní obor čili zahrnuje klasické obory jako fyzika, kvantová mechanika, chemie, biochemie, elektronika atd. To podpořil i obrovský nárůst podpory výzkumu v dotčených oblastech a lze tedy předpokládat, že v budoucnosti bude mít i podstatný vliv na světovou ekonomiku. S nanotechnologiemi ve formě různých produktů se každý člověk chtě nechtě setkává i v běžném každodenním životě např. v zubních pastách, krémech na opalování, deodorantech, šamponech, kosmetických pleťových vodách a také antibakteriálních přípravcích. Využití nanotechnologií je ale velmi rozmanité a rozsáhlé. Nejvyšší vývojová aktivita je v oblastech elektroniky, informatiky a medicíny. V následující tabulce jsou uvedeny pro příklad různé obory a oblasti spolu s příklady využití.

Tabulka 1: Příklady oblastí a různého využití nanotechnologií [11]

| Oblast | Využití |
|-------------------------|---|
| Elektronika | paměťové média, spintronika, bioelektronika, kvantová elektronika |
| Zdravotnictví | cílená doprava léčiv, umělé klouby, chlopně, náhrada tkání, dezinfekční roztoky nové generace, analyzátory, ochranné roušky |
| Strojírenství | supertvrdé povrchy s nízkým třením, samočistící nepoškrabatelné látky, obráběcí nástroje |
| Stavebnictví | nové izolační materiály, samočistící fasádní nátěry, antiadhezní obklady |
| Chemický průmysl | nanotrubice, nanokompozity, selektivní analýza, aerogely |
| Textilní průmysl | nemačkávé, hydrofobní a nešpinící se tkaniny |

| | |
|---------------------------------|---|
| Elektrotechnický průmysl | vysokokapacitní záznamová média, fotomateriály, palivové články |
| Optický průmysl | optické filtry, fotopické krystaly a vlákna, integrovaná optika |
| Automobilový průmysl | nesmáčivé povrchy, filtry čelních skel |
| Kosmický průmysl | katalyzátory, odolné povrchy satelitů |
| Vojenský průmysl | nanosenzory, konstrukční prvky raketoplánů |
| Životní prostředí | odstraňování nečistot, biodegradace, značkování potravin |

Po dřívějších negativních zkušenostech s některými chemickými látkami (např. DDT, PCB, dioxiny apod.) však vzrostl apel na výzkumná centra a výrobce, aby v případě nanomateriálů a nanotechnologií vždy zachovávali tzv. princip předběžné opatrnosti a přijímají se různá doporučení k regulaci, evidenci, stanovení metod hodnocení rizik a monitorování nanosloučenin. [11, 13]

Potenciální rizika nanomateriálů pak lze rozdělit na [11]:

- nebezpečí pro zdraví (toxicita),
- nebezpečí pro životní prostředí (ekotoxicita)
- fyzikálně-chemické nebezpečí (tj. způsobení požárů, exploze, neřízené a nežádoucí reakce)
- neetické využití třetí osobou (do budoucna nelze vyloučit ani tato možnost, případy kriminálních či teroristických činů, popř. válečný konflikt).

Nebezpečí pro zdraví a pro životní prostředí spolu velmi úzce souvisí, jelikož výskyt nanočástic ve složkách životního prostředí zapříčiní i kontakt s živými organismy, a tedy i s těmi lidskými. [15]

Analyzovat chování a osud nanočástice v životním prostředí je také komplikované tím, že na ně působí množství známých i neznámých faktorů a vlivů. Kromě rozměru (který ji prvotně řadí do kategorie „nano“) lze popsat a charakterizovat každý druh nanočástice [11, 15]:

- chemickým složením
- funkčními skupinami na povrchu (hydrofilita, lipofilita)
- tvarem

- distribučním rozložením částic
- hustotou
- krystalickou strukturou
- zeta potenciálem
- schopností agregace, aglomerace, sedimentace.

S těmito různorodými vlastnostmi vstupují do vnějšího prostředí. V ovzduší je pak nutno brát v úvahu i tzv. abiotický faktor vlivu, pod který lze zahrnout teplotu, vlhkost, sanitu, intenzitu slunečního záření, smog polutanty anorganického a organického původu apod. Ve vodním prostředí budou nanočástice ovlivňovány fyzikálně-chemickou charakteristikou vodné fáze (spodní voda, povrchová voda, říční a mořská voda), teplotou, pH, iontovou silou, koncentrací přírodní organické hmoty a složením sedimentu. Zapomenuty také nesmí být přítomné vodní organismy jako např. bakterie, řasy, prvoci, plankton, larvy, ryby apod. V půdním prostředí je potřeba brát v úvahu jeho fyzikálně chemickou charakteristikou nebo také přítomnost půdních mikroorganismů a živočichů (bakterie, larvy, žížaly apod.) a další. Velmi zjednodušeně lze osud obecných nanočástic v životním prostředí rozdělit na tři možnosti, které mohou působit samostatně, mohou se navzájem prolínat nebo mít synergický efekt, a to [11, 12]:

- modifikace (hlavní roli zde bude hrát adsorpce),
- změna složení (vzájemná reakce funkčních skupin s organickými či anorganickými látkami),
- degradace (může být fyzikální, chemická, biologická).

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že nanočástice může ovlivnit opravdu mnoho faktorů a výsledná toxicita může být poměrně obtížně stanovitelná. Mezi autory pak panuje poměrná shoda, že hlavní hybnou silou bioaktivity je plocha nanočástic. Povrchový povlak nanočástice (např. hydrofobní polymer) zvyšuje bezpečnost nanočástice a snižuje jejich bioreaktivitu. Dalším problémem ještě může i to, zda byly stejné typy částic vyrobeny jinou syntetickou cestou nebo budou modifikovány. Rovněž se předpokládá, že částice nacházející se běžně v přírodě se budou chovat odlišně oproti těm, které byly vyrobeny průmyslově, či laboratorně (ing-částice). [11, 12]

Otázkou pak ale zůstává, zda jsou tradiční postupy a metodiky hodnocení rizik budou schopny pokrýt celou složitou a rozmanitou problematiku spojenou právě

s nanotechnologiemi. Hodnocení bude pravděpodobně ovlivněno také např. formou vyráběného nanomateriálu (tzn. zda se jedná o nanočástice, nanotyče nebo nanovrstvy) nebo to, zda je nanomateriál komponentem do jiného výrobku. V každém případě bude muset být dostatečně zajištěna bezpečnost výroby, samotných pracovníků a popřípadě dalších zpracovatelských zařízení, a následně veřejnost v blízkosti výrobního podniku, cílový spotřebitel, a zda nemohou vzniknout další rizika při likvidaci či recyklaci nanoproduktů apod. [11, 13]

1.4 Rizika nanomateriálů a nanotechnologií pro lidské zdraví

S různorodým, a hlavně častějším používáním nanočástic a nanotechnologií samozřejmě roste i riziko jejich nežádoucího vlivu na člověka a jeho organismus. Hlavní fyzikálně-chemické nebezpečí představuje výroba nanočástic systémem „TOP-DOWN“, kdy je za potřeby mechanický proces jako broušení, řezání supermletí apod. V měřítku nanosvětla může i zdánlivě čistá místnost skrývat četné množství prachu a ten v závislosti na malé velikosti může pronikat (nejen) do dýchacího ústrojí člověka. [2, 13]

Při vstupu nanočástic do organismu dojde v případě expozice chemickým látkám či aerosolům k interakci organismu s určitou škodlivou látkou, jakmile se daná látka nebo částice (po průniku do těla) dostane do krevního oběhu. Cesty, jakými se můžou takové škodliviny dostat do těla jsou dýchacím ústrojím (inhalační expozice), zažívacím ústrojím (perorální expozice), kůží a viditelnými sliznicemi (dermální expozice) nebo se mohou dostat přímo do krevního oběhu např. přes poškozenou tkáň nebo vpichem (intravenózní expozice). Je jistě zřejmé, že nejrychleji se do krve dostanou látky podané intravenózně, takové případy však budou reálně méně časté a méně obvyklé než expozice inhalační, navíc přírůstek látky touto cestou je velmi podobný. U perorálního a dermálního vstupu jsou charakteristické spíše pozvolné nárůsty koncentrací. Z pohledu běžného života pak samozřejmě nejsnadnější cestou částic k proniknutí do lidského organismu představují plíce a trávicí ústrojí. [2, 13]

Vdechnutí nanočástic probíhá shodným způsobem, jako když jsme vystaveni expozici par, či plynům. Plíce jsou schopny velmi rychle absorbovat, jejich stavba je totiž uzpůsobena k velmi efektivní výměně plynů mezi vdechovaným vzduchem a krví. Udává se, že plocha plic, na které dochází k výměně je velká až 100 m^2 , což se rovná velikosti tenisového kurtu. Vliv má též stavba membrány plicních buněk, která umožňuje látkám překonávat ji velmi

rychle. Míra celkové expozice částicím závisí na několika faktorech, zejména na velikosti částic, na jejich koncentraci, ale také na dechové frekvenci, jakou daný člověk dýchá a zda dýchá nosem, či ústy. Podle vlastností vdechnutých částic pak může dojít k uložení částic v dýchacím ústrojí, nebo mohou být naopak opět vydechnuty, záleží však i na stavu a vlastnostech dýchacího ústrojí a mnoha dalších faktorech. [1]

V oboru nanotechnologií byly vyvinuty metodiky měření koncentrace nanočástic a jsou studovány i procesy vnikání těchto částic do organismu, jejich ukládání v důležitých orgánech lidského těla a zdravotní důsledky tělní kontaminace. Nanočástice, které se připravují pro určitou aplikaci musí mít předem známou toxicitu ještě před jejich praktickým využitím. [9]

Plicní kontaminace

Plíce jsou při inhalaci nanočástic nejhůře a nejvíce zasaženým orgánem z hlediska množství uchovaného materiálu. Dýchání je nejvýznamnější cesta pro vstup nanočástic do organismu s cílovým orgánem – plícemi. Ty jsou velmi citlivé na toxiny. Při vdechování částic větších než 10 μm dochází k jejich zachycení sliznicí na skořepě nosní. Poté mohou být přemístěny pomocí tzv. záchytných bičíků do úst. Částice menší velikosti – pod 100 nm, pak zůstávají v proudícím vzduchu jdoucím do průdušek lalokových a segmentálních a poté mohou pronikat stále jemnějšími průduškami do plicních sklípků. Odtud mohou být odstraňovány fagocytózou. Přitom může probíhat i degradace částic nebo vyplavování tzv. mukociliárním neboli hlenovým eskalátorem (řasinkový epitel dýchacích cest, který „posunuje“ částice dál do těla). Pokud je však soustavně přetěžován, zvětšuje se počet hlenových žláz a buněk vylučujících hleny, což se děje např. u kuřáků nebo při inhalaci dráždivých substancí a vzniká tak dispozice k bronchitidě. Pokud je množství částic až příliš velké s ohledem na fagocytární činnost alveolárních makrofágů, může dojít k zánětům a alveolární destrukci s následnou fibrózou. [9]

Inhalované nebiologické částice jsou hlavní příčinou lidských plicních onemocnění s toxicitou závislou na jejich rozměru, složení, dávce, délce expozice a vnímavosti subjektu. Inhalace minerálního prachu, probíhá-li pravidelně v délce několik let, vede ke vzniku pneumokoniózy v případě uhelného prachu a silikózy při inhalaci kamenného prachu, pak vzniká fibróza a v plicích se tvoří dutiny. [9]

V alveolární oblasti plic (plicní sklípky) se běžně ukládá až 1/3 množství všech částic o velikostech menších než 100 nm. Zachycovat se však též mohou i v horních cestách dýchacích, a to až s 75% účinností i v případě, že člověk dýchá nosem. Účinek zachytu je ovlivněn skutečností, zda člověk dýchá nosem, či ústy. Podle [2] vyplývá, že se částicím o velikosti cca 3 μm lze efektivně bránit pronikání do dolních cest dýchacích právě dýcháním nosem. Samozřejmé je, že klíčovým faktorem je velikost částic. [2]

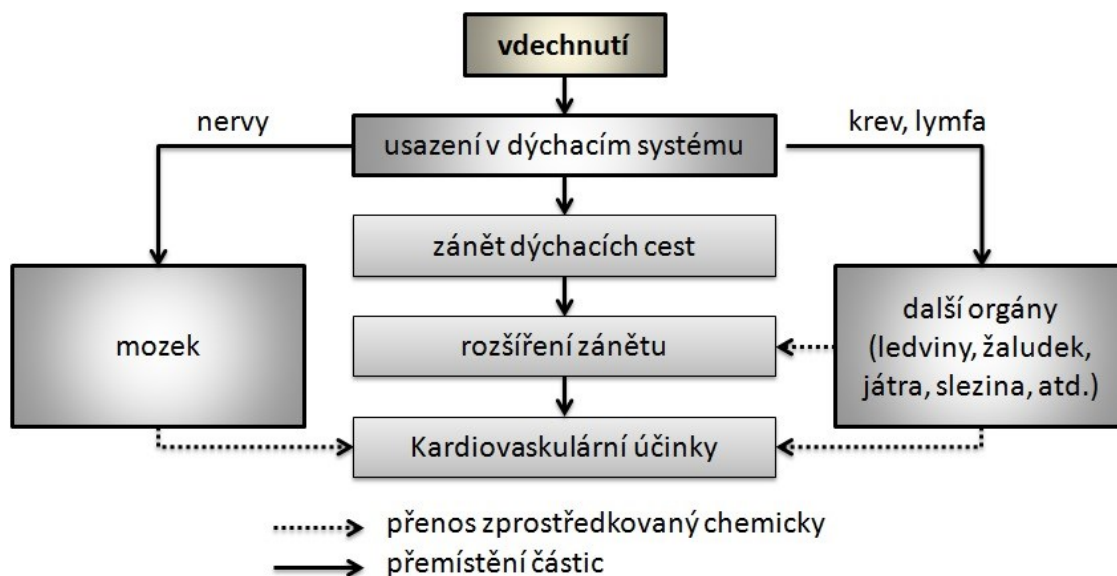
Jako mimořádně závažný se projevuje kardiovaskulární vliv inhalovaných částic, kterému je podle práce [7] jenom ve Velké Británii přičítáno na vrub 23 000 úmrtí ročně s jednoznačnou vazbou na expozici mikro a nanočásticemi. Ultrajemná frakce částicových polutantů se velmi významnou měrou podílí na zjištěné úmrtnosti jak respiračními nemocemi, tak kardiovaskulárními případy jako infarkt myokardu, srdeční arytmie a mozkové příhody. Může také spouštět uvolňování ultrajemných částic z epitelu respiračního traktu do cirkulace v organismu, kde působí jako patogeny různých nemocí. [7]

Tabulka 2: Průnik a ukládání částic v závislosti na jejich velikosti [2]

| Velikost částic | Místo zachycení; příp. následky |
|---------------------|--|
| > 10 μm | Horní cesty dýchací; částečné vykašlávání/vysmrkávání/spolknutí, stanou se součástí expozice požitím |
| 4–10 μm | Pod úrovní hrtanu; mohou proniknout do dolních cest dýchacích |
| 2,5 μm | Průnik do průdušek |
| 1–3 μm | Snadné usazování v průduškách, i dlouhodobě; dýchací onemocnění, vč. rakoviny |
| Desítky – stovky nm | Průnik do plicních sklípků; snadný průnik s plyny do krevního oběhu |

Negativní zdravotní účinky spojené s příjmem dýchací ústrojím

S příjmem částic skrze dýchací ústrojí souvisí také translokace neboli přemísťování. V případě translokace vdechnutých velmi jemných částic do krevního řečiště člověka by mohlo dojít k neblahému působení na funkci cév a podporování vzniku trombózy a jiných onemocnění oběhového systému, včetně zvýšené srážlivosti krve. Tento jev byl prokázán na křečcích, ale informace vztahující se na člověka jsou stále nejednoznačné, a tedy ne zcela průkazné. [2]



Obr. 1: Cesta částic – inhalační expozice [2]

Provedené studie na kardiovaskulární úrovni prováděné na dobrovolnících ukázaly, že množství vdechnutých částic může přímo ovlivňovat změnu srdečního rytmu a průměr tepen. Jiné studie zase prokázaly přímou souvislost ve vztahu mezi exponovanými nanočásticemi a respiračními a kardiovaskulárními dopady. Kromě toho mají částice z plic schopnost přecházet do nervového systému. Epidemiologické studie pak zjistily vzájemné propojení a uvedly, že zvýšené znečištění ovzduší jemnými částicemi pocházejících především z emisí motorových vozidel vede k vyšší úmrtnosti lidí s dýchacími či srdečními problémy. Klinické studie prokázaly, že ultrajemné částice se ukládají po celém tzv. bronchiálním stromu, to doprovází četné kardiovaskulární problémy. Následně u horníků pak byly výsledky ještě horší a průkaznější, jelikož vzhledem k poškozeným plicím těchto pracovníků procházejí částice snadněji do oběhového systému. [2]

Dlouhodobá translokace z plic

Oproti částicím větších rozměrů jsou nanočástice po usazení v plicích schopny translokace skrze respirační epitel. Po jejich proniknutí přes respirační epitel mají schopnost buď zůstat v mezibuněčném prostoru po několik let, anebo mohou proniknout do lymfatického a oběhového systému. Z oběhového systému může dojít k dlouhodobé translokaci do orgánů (např. játra, srdce, slezina, močový měchýř, ledviny, kostní dřeň), záleží ovšem na délce trvání expozice. V případě menších částic (20 nm) je vypuzování z plic rychlejší než u částic větších (100 nm) z důvodu toho, že malé nanočástice nejsou

účinně fagocytovány (pohlcovány) makrofágy a jsou schopny do oběhových anebo lymfatických systémů vniknout rychleji. [2]

2 Původ a specifika vybraných materiálů

Pro experimentální část byly vybrány dva podniky, přičemž každý z nich se zejména specifikuje na práci právě s jedním materiálem. Těmi jsou v jednom případě ocel a v druhém dřevo. Oba tyto materiály jsou v průmyslu poměrně běžně využívanými, a v pracovním prostředí se s nimi setkává denně velké množství pracovníků po celém světě. I to jsou důvody, proč zrovna tyto suroviny byly vybrány pro následující stěžejní část práce. Jejich chemické složení je samozřejmě velmi rozličné a s tím souvisí i to, jak mohou při vdechnutí v lidském těle působit.

Před samotnou experimentální částí jsou v následujících podkapitolách rozebrány jednotlivé materiály a popsány jejich specifika.

2.1 Ocel

Na samotném začátku procesu výroby oceli se nachází hlavní složky – surové železo, uhlík a několik doprovodných prvků. Těmito prvky nejčastěji bývají mangan a z menší části křemík. Všechno tyto prvky pak tavením ve vysokých pecích dávají za vznik slitině, které se říká právě ocel. Za ocel však lze považovat jen takové slitiny, které mají obsah uhlíku do 2,14 %, pokud je to obsah větší, jedná se o litinu. Existuje však celá řada prvků, jako např. síra, fosfor, dusík, vodík nebo kyslík, které mohou zasáhnout do výrobního procesu, či do samotného výsledného materiálu a mohou tak snižovat jeho kvalitu. Tyto prvky jsou obsaženy buďto už v rudě (síra, fosfor), jiné zase v palivu, nebo přímo v atmosféře. [16]

Takto zjednodušeně se dá vysvětlit proces produkce ocele třídy 10, což je konstrukční, nejzákladnější typ. Takové oceli např. 1050, 1095 a podobné jsou však náchylné ke korozi, houževnaté a tvrdé, proto je potřeba je k jednotlivým účelům vylepšit procesem zvaný legování. Je to metalurgický proces zlepšování vlastností slitin. Kromě oceli se používá též např. ve zlatnictví. Legovacím prvkům se odborně říká legury. Mohou se do slitiny přidávat již při vsázce, tedy když jsou všechny prvky ještě v pevném skupenství, nebo se mohou přisypávat přímo do roztaveného materiálu v peci. Legovací materiály se dělí na tři základní skupiny:

- nízko legované: obsah legur do 5 %,
- středně legované: obsah legur od 5 do 10 %,
- vysoce legované: obsah legur nad 10 %.

Avšak reálně není legování zase tak jednoduché, nestačí pouze vzít několik prvků kovů a přidat je do taveniny, každý takto vzniknutý materiál je výsledkem dlouhých let výzkumů. Při tvorbě a legování je potřeba dát pozor na tvorbu krystalové mřížky, jemnosti zrn, prokalitelnost a mnoho dalších proměnných. [16]

Mezi legovací prvky patří: mangan, chrom, molybden, nikl, křemík, wolfram, vanad, bór, hliník, cer, kobalt, měď, niob, tantal.

V podniku Metrostav a.s., ve kterém se odehrávaly měření koncentrace nanočástic při svařovacích a brousících pracích, byl používán typ oceli P355NL2, a to na celá vrata, kromě pomocných konstrukcí. Tento typ ocelových plechů se dle normy EN 10028 používá hlavně pro stavbu tlakových nádob a kotlů a potrubí pro horké kapaliny. Je vhodná pro použití při nízkých teplotách. Vzhledem ke své jemnozrnné a vylepšené houževnatosti je jednou z nejoblíbenějších ocelí, které se používají v ropném, plynárenském a petrochemickém průmyslu [17, 18]

Tabulka 3: Chemické složení oceli P355NL22: [13]

| Živel | Max % | Živel | Max % |
|-------|-------------|-------------|-------|
| C | 0,18 | Cu | 0,30 |
| Si | 0,50 | Po | 0,08 |
| Mn | 0,90 – 1,70 | N | 0,02 |
| P | 0,03 | Nb | 0,05 |
| S | 0,03 | Ni | 0,50 |
| Al | - | Ti | 0,03 |
| Cr | 0,30 | Nb + Ti + V | 0,12 |

Samotná ocel tedy obsahuje poměrně velké množství prvků, které by ve vyšší koncentraci v lidském těle mohly způsobit mnohé zdravotní potíže. Avšak je velmi nepravděpodobné, že by se ocel jako taková dostala do těla ve velkém množství např. požitím. Mnohem reálnější je, že může proniknout vdechnutím do dýchací soustavy

při svářečských a brousících pracích. V příloze č. 3 Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci jsou uvedeny přípustné expoziční limity (PEL) pro prachy s možným fibrogenním účinkem pro [19]:

- svářečské dýmy – $PEL = 5,0 \text{ mg.m}^{-3}$,
- svařování nebo plazmové řezání nebo podobné pracovní postupy, při kterých vzniká dým s obsahem chromu – $PEL = 0,025 \text{ mg.m}^{-3}$

Brousící práce, které by odpovídaly podmínkám jako např. broušení svařených ocelových plátů toto nařízení už nijak dále nerozebírá a není možno se o něj v tomto případě opřít. Mnoho dýmů, kterým jsou zaměstnanci v provozech vystaveni jsou ty, které vznikají právě při svařování. To může způsobit četná zdravotní rizika, zvláště pokud je taková práce vykonávána dlouhodobě a často. Následující tabulka představuje přehled zdravotních rizik vdechování dýmů ze svařování:

Tabulka 4: Zdravotní rizika vdechování dýmů ze svařování [20]:

| Dým/prach | Možné okamžité účinky | Možný dlouhodobý účinek |
|---|--|--|
| Dým ze svařování (obecně) | Chrapot, bolest v krku, podráždění očí, horečka z kovových par | Bronchitida, reprotoxické |
| Chrom (v dýmu ze svařování – mimo jiné – při svařování nerezové oceli) | | Rakovinotvorné |
| Nikl (v dýmu ze svařování – mimo jiné – při svařování nerezové oceli) | Zimnice (kovová horečka) | Rakovinotvorné |
| Hliník | Podráždění dýchacích orgánů, zimnice (kovová horečka) | |
| Mangan | Zápal plic | Poškození centrálního nervového systému |
| Zinek | Zimnice (kovová horečka) | |
| Měď | Zimnice (kovová horečka) | |
| Magnezium | Podráždění dýchacích orgánů, zimnice (kovová horečka) | |
| Olovo | | Poškození krve a ledvin, reprotoxické následky |

2.2 Dřevo

Je samozřejmě jedním z nejvýznamnějších přírodních materiálů a využívá se od nepaměti k výrobě např. pracovních nástrojů, stavebních potřeb nebo jako topivo pro zdroj energie. Je to materiál biologický a nehomogenní, skládá se ze souboru rostlinných pletiv s převážně zdřevnatělou buněčnou stěnou jednotlivých buněk. [21]

Z pohledu mikroskopické stavby je dřevo složeno z buněk, které jsou specializované k jisté funkci. Stavba jehličnanů je o něco jednodušší než u listnatých dřevin, jsou totiž vývojově mladší a jsou složeny z více anatomických elementů, které jsou přesněji specializované. Zmíněné jehličnaté dřeviny neprošly tak dlouhým vývojem, a právě to se podepsalo na jejich jednoduchosti, jsou složeny pouze z tracheid a parenchymatických buněk. Dřevo listnatých dřevin je složeno anatomických elementů a každý z nich se specializuje na jistou funkci. Těmito elementy jsou cévní články, libriformní vlákna, parenchymatické buňky a tracheidy. [21]

Chemické složení dřeva je potom rozděleno na tři hlavní složky: celulózu, která tvoří kostru dřeva, lignin, který způsobuje zdřevnatění a poslední složkou je hemicelulóza. Základní stavební jednotkou celulózy je glukóza ($C_6H_{12}O_6$), která vzniká jako produkt listového chlorofylu ze vzdušného oxidu uhličitého a vody, přičemž potřeba je slunečního záření. Dochází tak k fotosyntéze. Celulóza není rozpustná ve vodě ani v zředěných kyselinách či zásadách. Pokud se dostane do styku s rozpouštědly, bobtná. [21]

Lignin je složitý polymer a jakožto látka způsobující zdřevnatění, také umožňuje přeměnu celulózové tkáně v tkáň dřevní a vyplňuje prostory mezi celulózou a hemicelulózou. Hlavní vlastností ligninu je tepelná nestálost, což bývá využito hlavně při výrobě ohýbaného nábytku. Množství ligninu ve dřevní hmotě je mimo jiné závislé na stáří, s rostoucím věkem dřeviny roste jeho množství, závisí také na tom, zda se jedná o měkké dřevo či tvrdé. [21]

Hemicelulózy, též nazývané polyosy, jsou polysacharidy tvořené různými pentosovými a hexosovými jednotkami. Vytváří kratší řetězce, které vyplňují prostory mezi celulózovými vlákny. Množství hemicelulózy ve dřevě se pohybuje v rozmezí 25–35 % a odvíjí se podle druhu dřeva – tvrdé obsahuje cca 35 %, měkké pak okolo 25 %. Dalšími složkami dřeva jsou takové látky, které se vyskytují v menší míře a netvoří dřevní hmotu.

Tyto látky (např. třísloviny – taniny, pryskyřice – terpeny) ovlivňují vlastnosti dřeva jako odolnost vůči houbám a plísním. [21]

Chemické složení dřeva se mění i podle části stromu, ve větvích je obsaženo méně celulózy, ale více hemicelulózy a ligninu, než je tomu u dřeva kmenového. V kůře je mnohem více ligninu, a ještě méně celulózy. Z hlediska fyzikálního jsou klíčovými vlastnostmi ovlivňující obránění dřeva vlhkost, nasákklivost, hustota, pórovitost, tepelné, elektrické a akustické vlastnosti. [21]

Dřevní prach, jakožto soubor malých částic vznikajících při zpracování dřeva, nebo manipulaci lze zařadit jako prach s převážně dráždivým účinkem. V příloze č. 3 Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, jsou uvedeny PEL, kde je dřevní prach rozdělen na prach z [19]:

- toxických a výrazně senzibilujících (exotických) dřevin – $PEL = 1 \text{ mg.m}^{-3}$,
- tvrdých (karcinogenních a senzibilujících dřev – $PEL = 3 \text{ mg.m}^{-3}$,
- ostatních (nesenzibilujících a nekarcinogenních) dřevin – $PEL = 5 \text{ mg.m}^{-3}$,

Podle výše uvedeného NV jsou prachy tvrdých dřev považovány za karcinogenní. Tento fakt byl průkazně prokázán studiemi u adenokarcinomu nosních dutin a paranasálních dutin (vedlejší dutiny nosní). Jiné studie poukázaly na fakt, že spojení dřevního prachu a vzniku karcinomů se může vyskytovat nejen u částí dýchací soustavy, ale i u jiných orgánů, výsledky studií však nebyly dostatečně průkazné. Kromě karcinomů ovšem mohou vznikat i různé dermatózy a jiné respirační onemocnění a alergické reakce. Dermatózy mohou být způsobeny např. chemickým podrážděním některou ze složek dřeva, které působí jako alergen, nebo chemikáliemi používanými jako ochranné prostředky proti plísním nebo hmyzu. Vznik různých respiračních onemocnění pak ovlivňují i faktory jako typ dřeva a velikost částic prachu. U alergických potíží se rozlišuje, zda byly způsobeny některou ze složek dřevního prachu (v tomto případě se jedná o bronchitidy a astmata) nebo plísněmi, či houbami nacházejících ve dřevě. [21]

3 Experimentální část

Experimentální část této diplomové práce byla zaměřena na měření nanočástic generovaných různými technologiemi ve dvou různých podnicích. Prvním z nich byl Metrostav a.s., kde se zaměřovalo především na svářecí a brousící práce. Druhým podnikem byla nábytkářská firma IKTUS, kde se tedy zpracovává dřevo. O těchto podnicích jsou další informace uvedeny níže, před konkrétními měřeními.

3.1 Zvolená strategie měření

Pro relevantnost měření byla vytvořena strategie, podle které se postupovalo při všech terénních měřeních. Základním bodem pak bylo dílčím měřením identifikovat místa, kde je zjevné, že se nachází zdroje generující aerosol nanočástic ve vztahu k přítomným zaměstnancům a následně vybrat konkrétní místa k umístění vzorkování (odběru).

Následující kroky postupu:

1. Registrovat proudění vzduchu s přenosem aerosolu na daném pracovišti (dveře, okna, řízená ventilace).
2. Popsat a analyzovat pracovní činnosti a používané technologie.
3. Analýza pracovních zvyklostí/chování zaměstnanců.
4. Základní plošné měření v prostoru a následné měření v místě, kde byl identifikován nejčastější zdroj generující procesní aerosoly a dále vybrání míst k umístění měřicího přístroje.

Nejčastější zdroje procesních aerosolů:

- Horké procesy (zpracovávání kovů, tavení hliníku, železa, oceli)
- Manipulace s materiálem
- Spalování
- Nanoaerosoly související s kvalitou vnitřního vzduchu
- Vlastní nanotechnologie (C-sloučeniny, nanotextilie)

Při zhodnocování výsledků poté bylo postupováno v podstatě podle normy ISO/TR 27 628 – Workplace atmospheres – Ultrafine, nanoparticle and nanostructured aerosols – Inhalation exposure characterization and assessment, a to tak, že:

- Bylo určeno předpokládané složení pevných částic aerosolu a odhadnut/stanoven jejich toxický účinek;
- Bylo registrováno proudění vzduchu s přenosem aerosolů na pracovišti;
- Byly analyzovány pracovní činnosti, používané technologie, pracovní zvyklosti a chování zaměstnanců;
- Následně se s pověřenými osobami zastupující podnik řešily případné otázky nebo návrhy (viz kapitola 3.8 kontrolní listy z terénního měření) týkající se:
 - Úpravy pracovní atmosféry (přirozené větrání, centrální nebo lokální odsávání, mobilní a vzduchové clony, filtrace vzduchu přes hepa filtry, případně ideálně odtah emisí a dostatečné větrání, popř. cirkulace vzduchu;
 - Opatření technologického či technického charakteru (změna technologie a metoda výroby, instalace CNC strojů, mobilní stěny, clony, umístění výroby nebo její části do hermetického boxu či digestoře, změna využívaných surovin;
 - Úprava organizačního charakteru (politika, soustavné prevence, kontrolní pásma, princip předběžné opatrnosti, čistota na pracovišti – pravidelný úklid, údržba, snížení počtu zaměstnanců, kteří jsou exponováni hlavním zdrojem nanočástic);
 - Zavedení ochranných pracovních pomůcek dýchacího systému (možnost využití certifikované metodiky MPSV, mít k dispozici kvalitní a dostatečné množství OOPP a OPDO. Ochrana dýchacích cest pomocí OOPP by měla být uplatňována až jako poslední varianta z opatření ochrany proti nanočásticím v pracovním prostředí, viz klasická hierarchie řízení rizik (eliminace, substituce, technická opatření, organizační opatření, osobní opatření);
 - Zavedení specializovaných pracovnělékařských prohlídek (např. biologické monitorování – SZU, Klinika pracovního lékařství, 1. LF UK, prof. Daniela Pelcová – Měření nasycených aldehydů v dechu).

3.2 Použité měřicí přístroje

- **Testo DiSCmini – Handheld Nanoparticle Counter**

Pro potřeby provedení měření v rámci této práce byl použit přístroj značky Testo. Jeho výhodou je že je díky svým rozměrům snadno přenositelný a práce s ním je velmi jednoduchá. Tento klasifikátor velikosti částic je ve své podstatě ruční senzor pro měření počtu nanočástic, střední velikosti částic a celkového povrchu částic usazených v plicních sklípcích (LDSA) s časovou odezvou 1 s (1 Hz). Princip měření je založen na základě elektrického nabíjení aerosolů. Díky svým rozměrům je přístroj velmi vhodný pro provádění příručních měření. Přístroj je nabíjen baterií, která vydrží až 8 hodin. Naměřené hodnoty se pak v textových souborech ukládají na paměťovou kartu, díky které se mohou snadno přenést do PC pomocí USB. Data byly poté zpracovány do formy grafů v MS Excel, vždy samostatně pro početní koncentraci částic a pro jejich střední velikost v nanometrech. [22]

Výrobce uvádí, že přístroj je především účinný pro osobní monitorování expozice na pracovišti zatíženém toxickými částicemi, jako jsou např. částice z dieselových a benzinových motorů, částice ze svařování nebo průmyslové nanomateriály. Je schopen detekovat částice v rozsahu velikosti od 10 do cca 700 nm, přičemž střední velikost částic by měla být menší než 300 nm. Rozsah koncentrace je od cca 1 000 do více než 1 000 000 částic na 1 cm³. Přesnost měření tak závisí na distribuci velikosti částic a na jejich koncentraci. [22]



Obr. 2: Přístroj pro měření částic Testo DiSCmini [23]

3.3 Metrostav a.s., Divize 3, Praha 9 – Horní Počernice

Jedna z částí měření koncentrací nanočástic se odehrávala v hale, kde docházelo především ke svařovacím a brousícím pracím. Samotné měření probíhalo ve dvou dnech.

Tato zakázka byla vyhotovována pro vodní dílo Gabčíkovo nacházející se na Slovensku jižně od Dunajské Stredy. Přehradní nádrž vodního díla Gabčíkovo prochází rekonstrukcí, jejichž součástí je také modernizace plavebních komor, včetně výměny jejich vrat, která se vyrábějí ve strojním areálu (ocelářská dílna) společnosti Metrostav a.s. v Praze – Horní Počernice. Vrata svou hmotností 1200 tun překonávají i vrata z Panamského průplavu. S takovou hmotností a velikostí vzniká i množství problémů ohledně logistické přepravy a také i samotný proces výroby. Na pracovišti v Praze se vyrábělo 16 dílů vrat (vrata se skládají ze dvou křídel, každé má 8 částí), která se dopravila na Slovensko, kde se jednotlivé díly zkompletovala do finální podoby. [24]

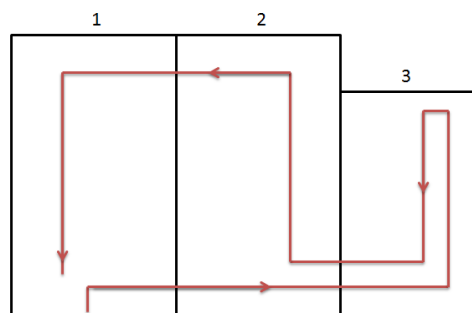
Hutní materiál, který byl využíván při realizaci jednotlivých dílů byl dovozen z Vítkovic. Poté, co byly jednotlivé části svařeny, obroušeny a dokončeny do svých finálních podob, přemístily se do lakovny nacházející se ve vedlejší hale v tomtéž podniku. Výčet jednotlivých technologií používaných při svařování:

- ruční obloukové svařování tavící se elektrodou
- obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu
- obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu
- obloukové svařování pod tavidlem drátovou elektrodou
- obloukové svařování pod tavidlem více drátovými elektrodami
- obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu
- plamenové svařování
- zdvihové přivařování svorníků
- řezání kyslíkem
- plazmové řezání
- drážkování stlačeným vzduchem v elektrickém oblouku

1. měřící den – 19. 5. 2020

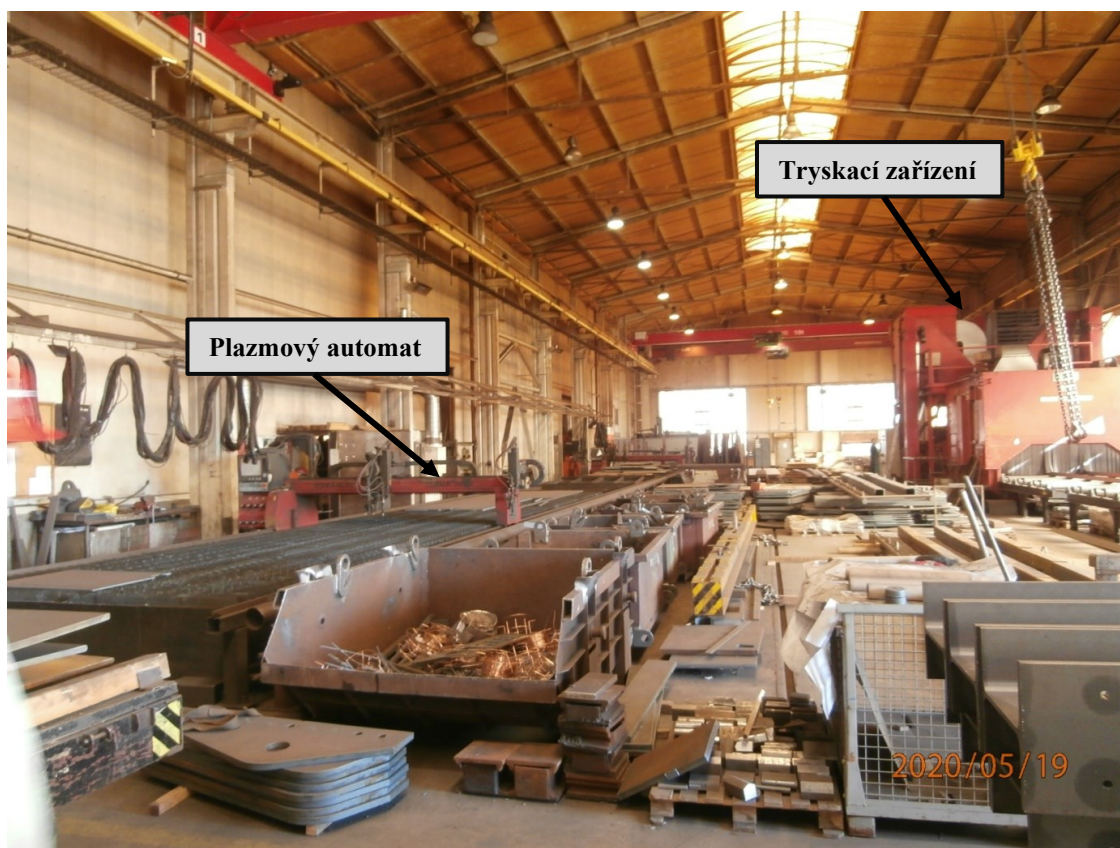
1. měření

V prvním měření prvního dne byl vytyčen okruh okolo celého podniku napříč všemi třemi halami (viz obr. 3). Poté co jsme prošli příchozí ulicí, dostali jsme se do haly přípravy (na obr. 3 označena číslovkou 3), kde probíhalo svařování a broušení, dále se zde nacházel pálcí plazmový automat typu PIERCE



Obr. 3: Vytyčená trasa měření

RUR 3000 GP, který se skládá ze stolice a 2 hořáků, kde se nad stolem pohybují dva pojízdné moduly ve tvaru „U“, které umožňují opalování materiálu z obou stran (na obr. 4 vlevo) a průběžné tryskáci zařízení SLAVATA 8 TPV 2500-600 (na obr. 4 vpravo), které pomocí malých (0,5 - 1 mm) ocelových kuliček opracovává materiál. Dále se v hale nacházel „pilovrtací“ obráběcí automat, konkrétně typu VORTMAN VB20, který pomocí programu navrtává potřebné tvary do materiálu.



Obrázek 4: Hala č. 3



Obrázek 5: Plazmový automat



Obrázek 6: Průběžné tryskací zařízení (tryskač)



Obrázek 7: „Pilovrtací“ centrum

Poté následoval přesun do haly č. 1 a 2, které od sebe nejsou konstrukčně nijak odděleny. Zde se na několika pracovištích svařovalo a brousilo. Segmenty jsou různých velikostí a dle potřeby na nich pracovalo jiné množství pracovníků. V celé hale se nacházelo cca 20 zaměstnanců. Ve sloupech je zabudováno nucené větrání s filtrační jednotkou (obr. 9), někteří zaměstnanci mají také své osobní zařízení pro filtraci vzduchu (obr. 8). Všichni tito pracovníci jsou vystavováni hluku a prachu, všichni svářeči pak i neionizujícímu záření, vibracím a práci ve vynucených polohách. Dokončili jsme okruh kolem celé haly a ukončili první měření.



Obrázek 8: Vybavení svářeče



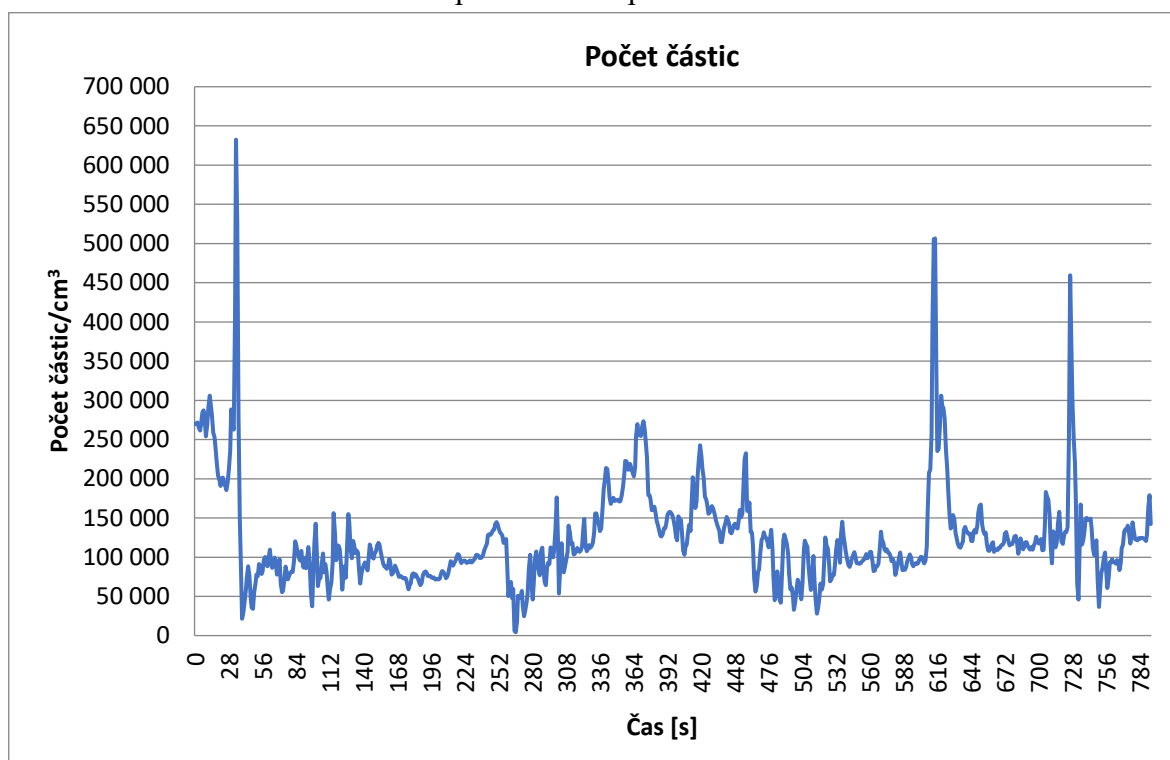
Obrázek 9: Nucené větrání vzduchu

Pro představu o rozměrech haly lze na následujícím obrázku (obr. 10) vidět několik segmentů a pracovišť, na kterých probíhají svařovací a brousící práce.

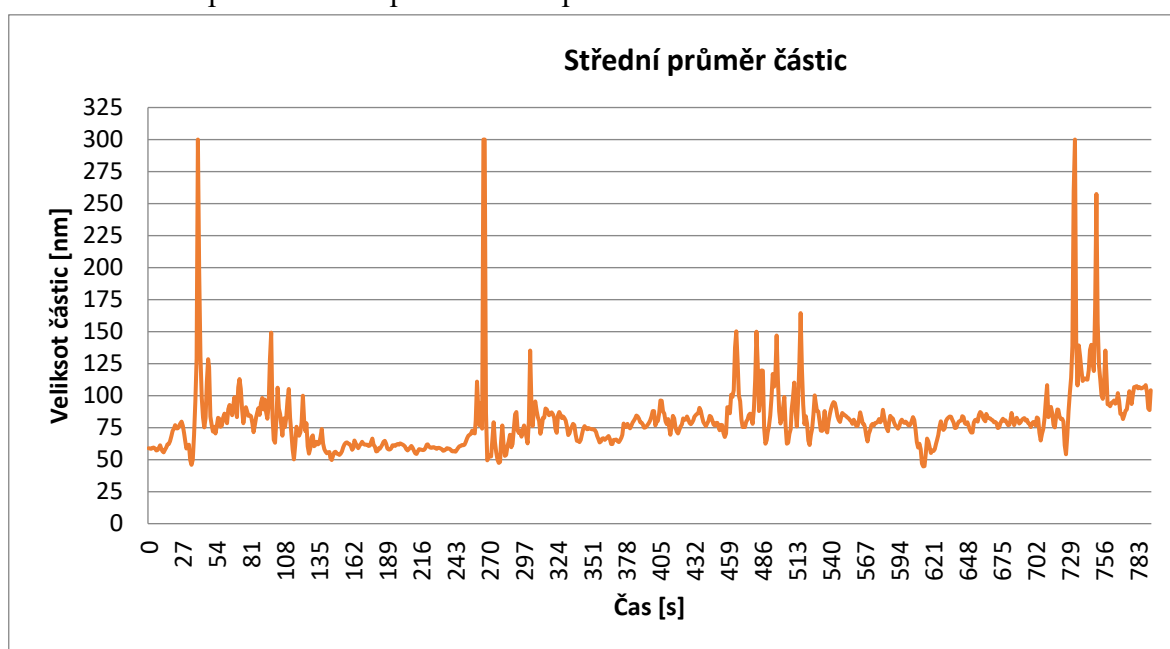


Obrázek 10: Náhled na pracoviště v hale č. 2

Graf 1: Početní koncentrace částic při okruhu napříč halami



Graf 2: Střední průměr částic při okruhu napříč halami



2. měření

Druhé měření proběhlo u otvoru v jednom ze segmentů v hale č. 1 (celkově 5 otvorů). V tomto segmentu pracovalo několik pracovníků, svařovali a brousili, několik mužů také pracovalo na vnější straně. Uvnitř měli též umělé osvětlení a někteří i osobní zařízení

pro odtaž zplodin. Zavedeno bylo též nucené větrání pomocí rukávů s ventilátory, které však pochopitelně ústí do prostoru haly.



Obrázek 11: Měření u otvoru do segmentu

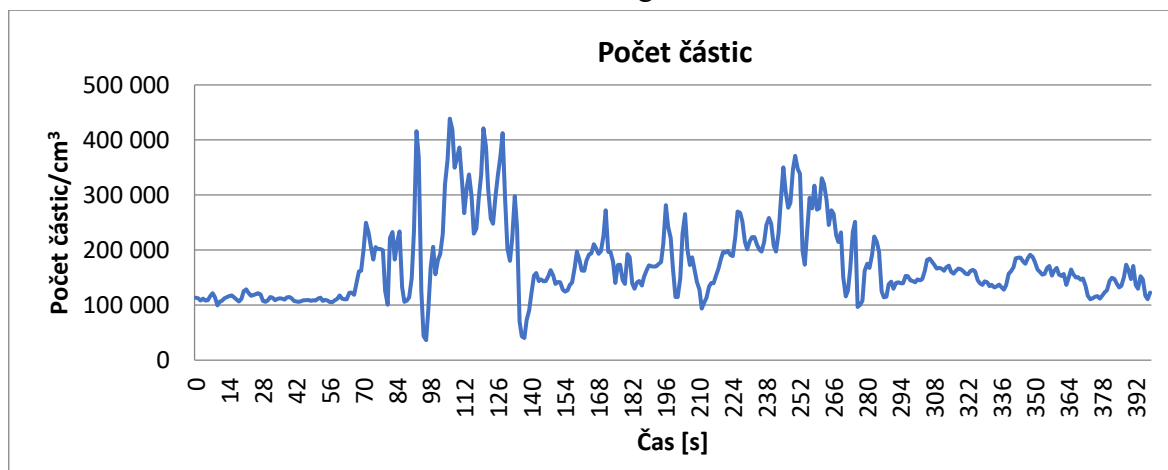


Obrázek 12: Nucené větrání pomocí rukávů

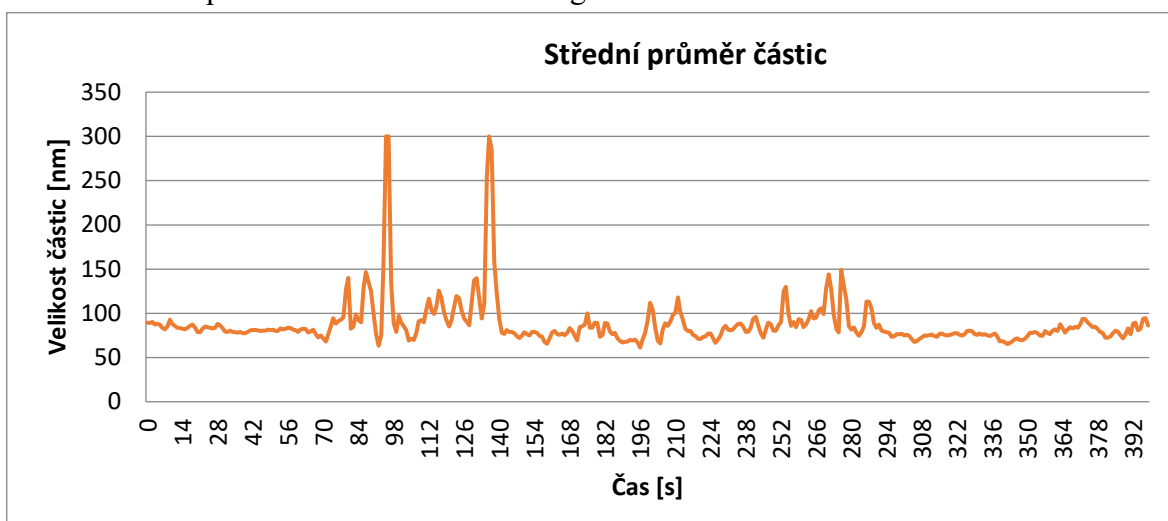


Obrázek 13: Práce probíhající vně segmentu

Graf 3: Početní koncentrace částic u otvoru do segmentu



Graf 4: Střední průměr částic u otvoru do segmentu



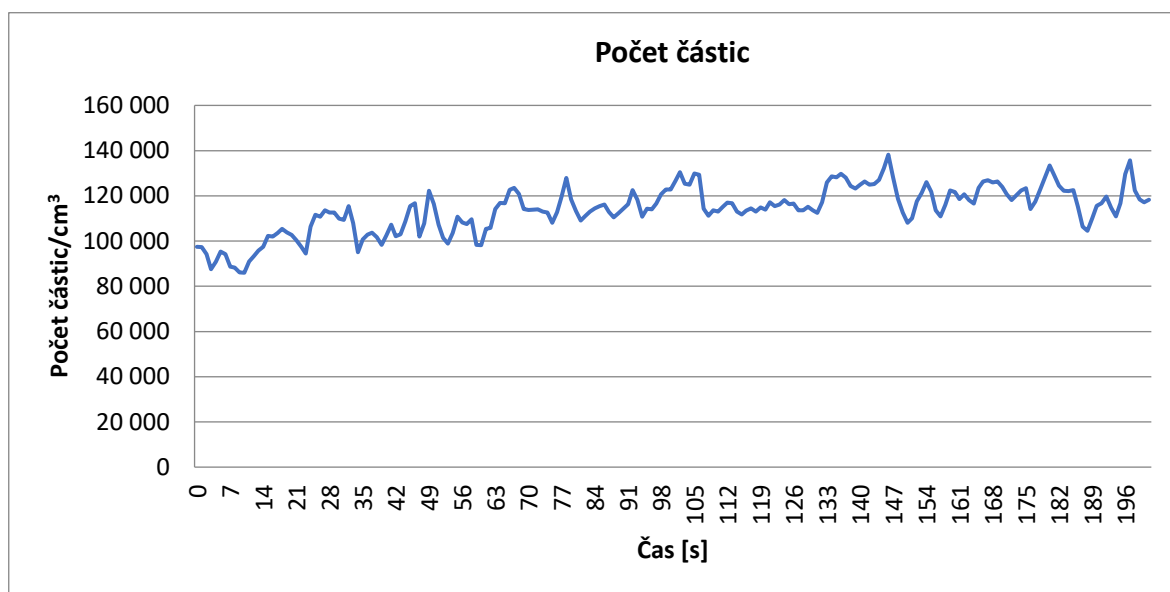
3. měření

Třetí měření probíhalo zhruba uprostřed haly 1. Přístroj se nacházel cca 2 metry pracovníka. Po cca 1 minutě se měřicí přístroj přesunul čelně naproti pracovníkovi. Tento pracovník neměl přítomen centrální odtah, pouze svůj svářečský štít chránící před zářením.

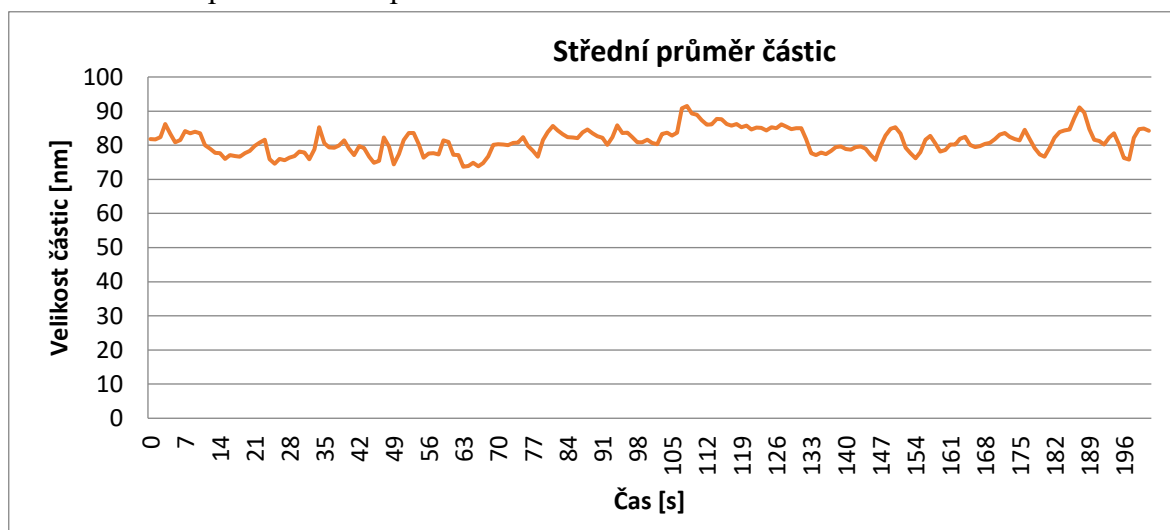


Obrázek 2: Měření za svařujícím pracovníkem; před přesunem

Graf 5: Početní koncentrace částic v blízkosti svářeče



Graf 6: Střední průměr částic při měření v blízkosti svářeče

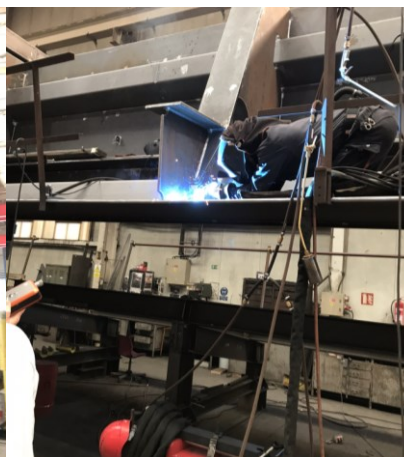


4. měření

Svařování u segmentu – most Pirna. Pracovník se nachází cca v dvou metrové výšce na segmentu, kde svařuje (a poté i brousí) po dobu měření cca 3 minut, následně se přesouvá na další část, která je měřicímu přístroji blíž. V blízkosti tohoto pracoviště také běžně probíhá svařování práškem, kdy se svar provede nanesením vrstvy prášku a následným elektrickým obloukem vedoucím pod touto vrstvou, při měření se však na tomto pracovišti nepracovalo. Dále se zde také nachází pracoviště, kde se provádí řezání plamenem, které supluje běžné broušení, ale není možné užít vždy u všech dílů a materiálů, používá se především na menší kusy materiálu.

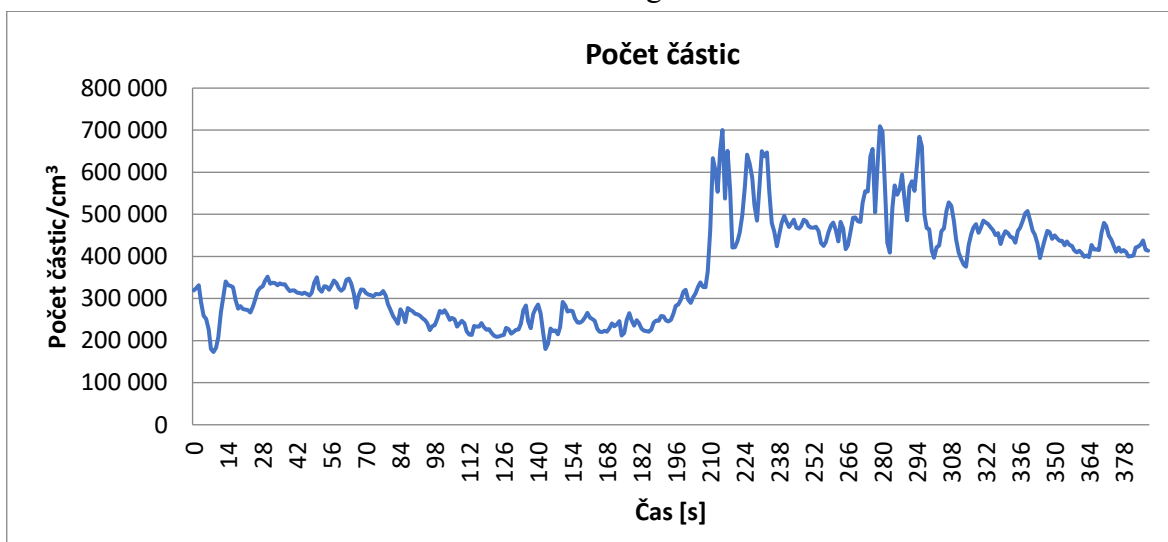


Obrázek 15: Náhled na segment – most Pirna

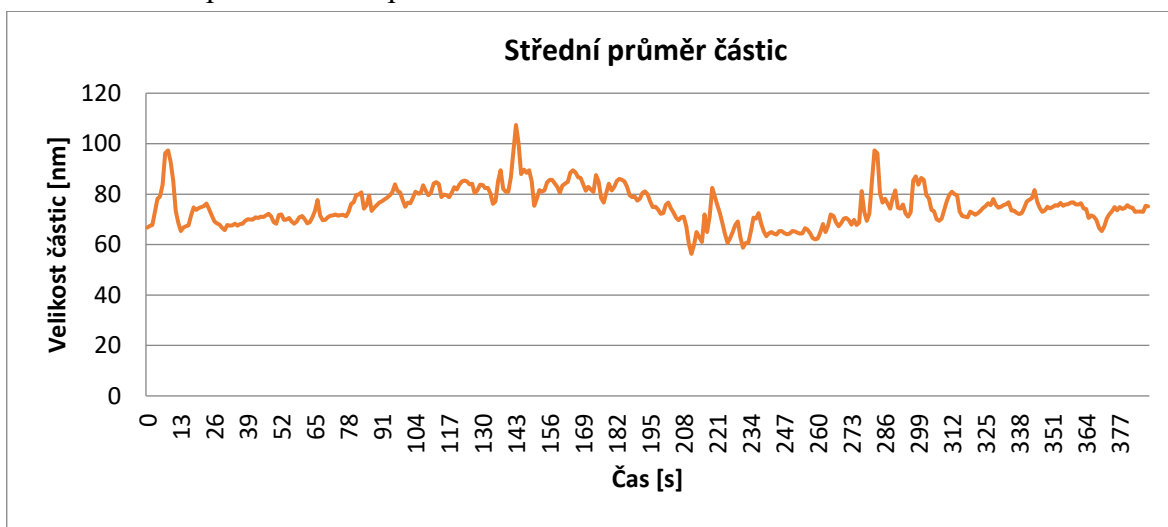


Obrázek 16: Měření u svařujícího pracovníka

Graf 7: Početní koncentrace částic u svářeče na segmentu mostu Pirna

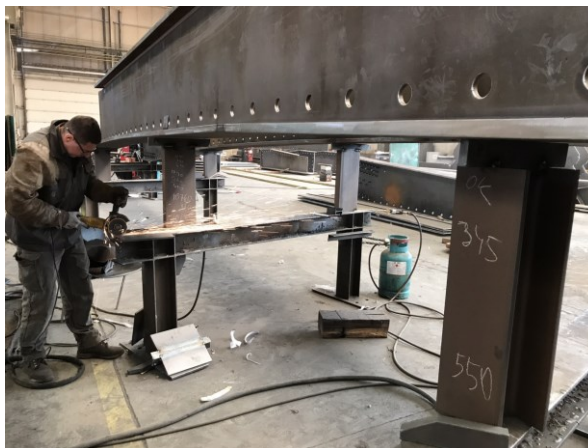


Graf 8: Střední průměr částic při svařování



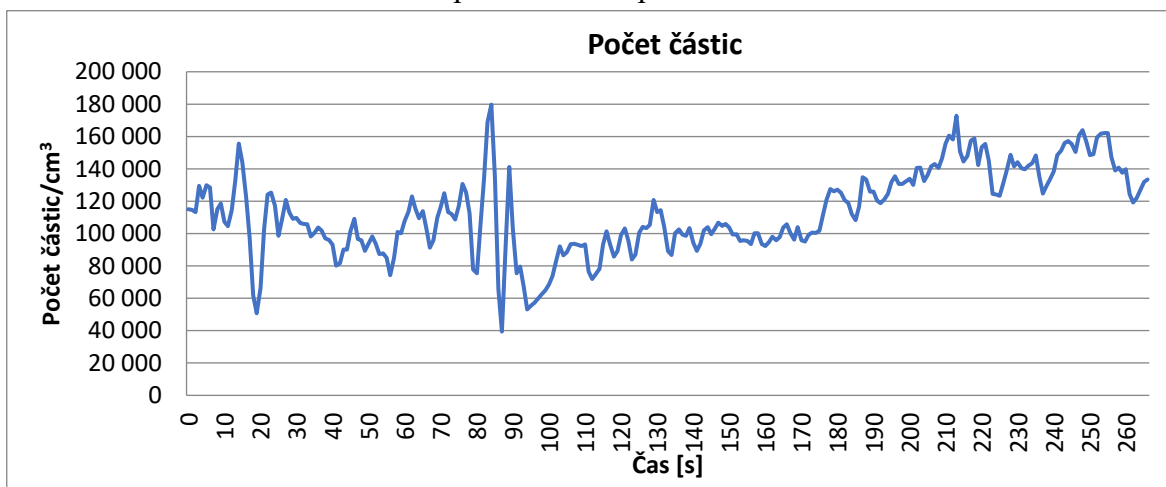
5. měření

Poslední měření tohoto dne proběhlo na pracovišti, kde probíhalo zpočátku broušení svařeného kusu po dobu měření cca 1 minutu a následně opět svařování (pozn.: při svařování pracovník vyměnil ochranné brýle za svářečský štít).

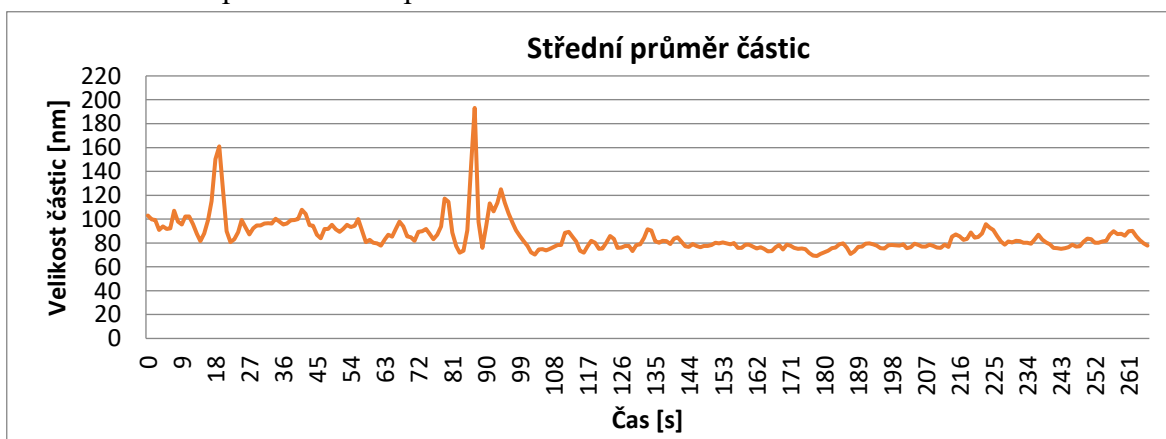


Obrázek 17: Pracoviště broušení a svařování

Graf 9: Početní koncentrace částic při broušení a při následném svařování



Graf 10: Střední průměr částic při broušení a následném svařování

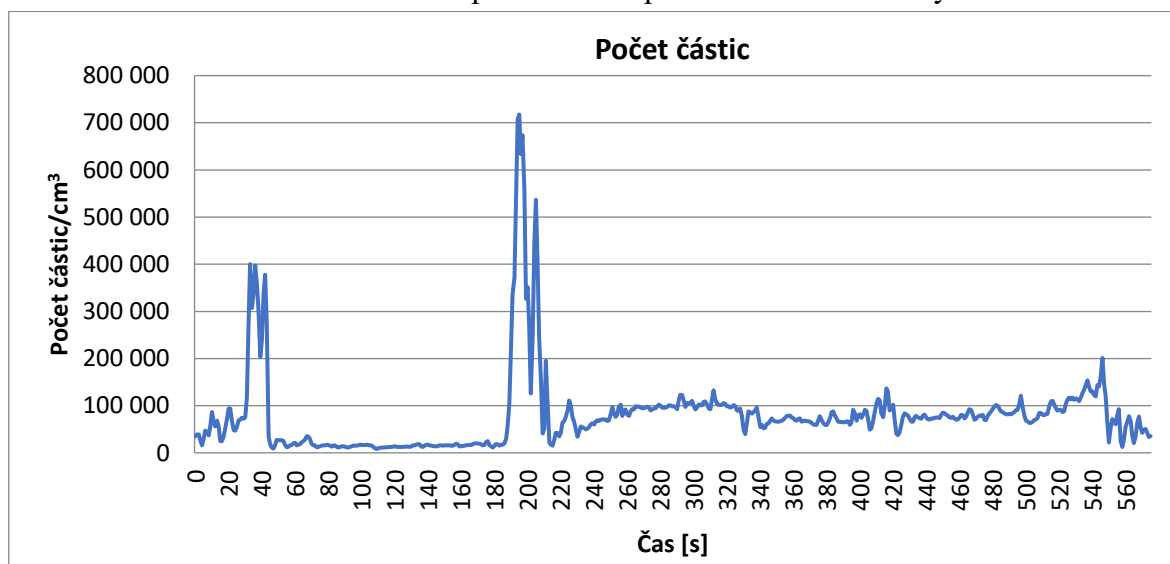


2. měřící den - 20. 5. 2020

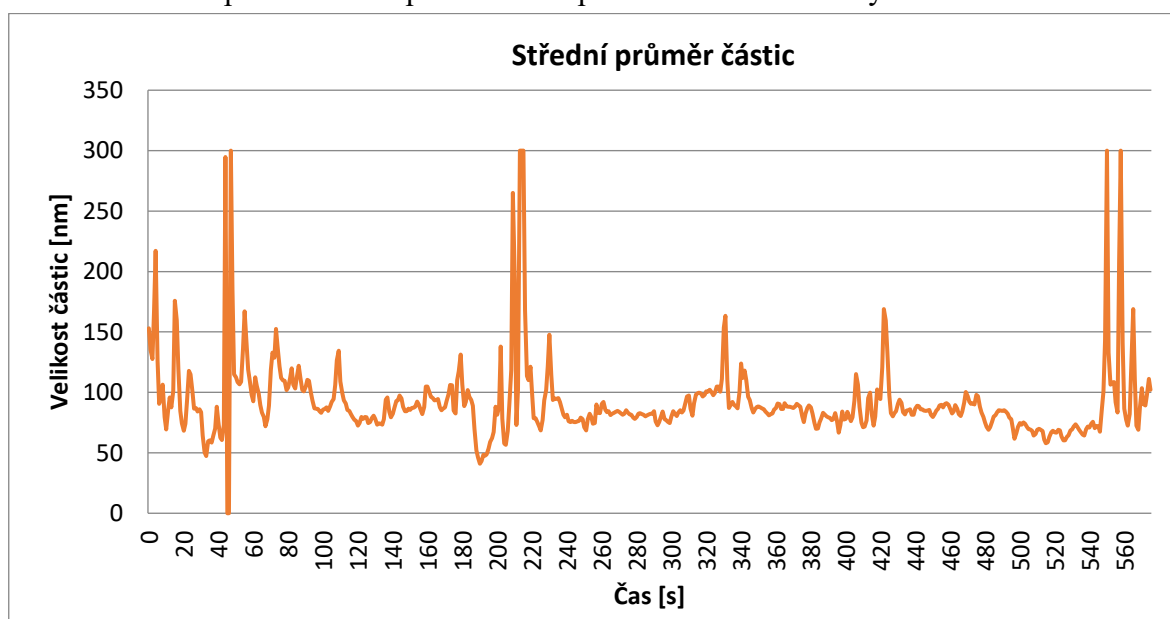
1. měření

Další měření proběhlo znovu v svařovacích halách, ve kterých probíhala měření prvního dne. Znovu bylo provedeno měření okruhu napříč všemi třemi halami pro srovnání, jak se hodnoty budou v jednotlivých dnech lišit. V různých místech hodnoty kolísají podle toho, jaké činnosti se v daných místech prováděly. V místech, kde se zrovna neprováděla žádná činnost, jsou pak hodnoty velmi nízké. Při srovnání je nutno brát do úvahy i fakt, že první den při měření trvalo projít okruh déle nežli v druhém dni, trasa ovšem byla stejná.

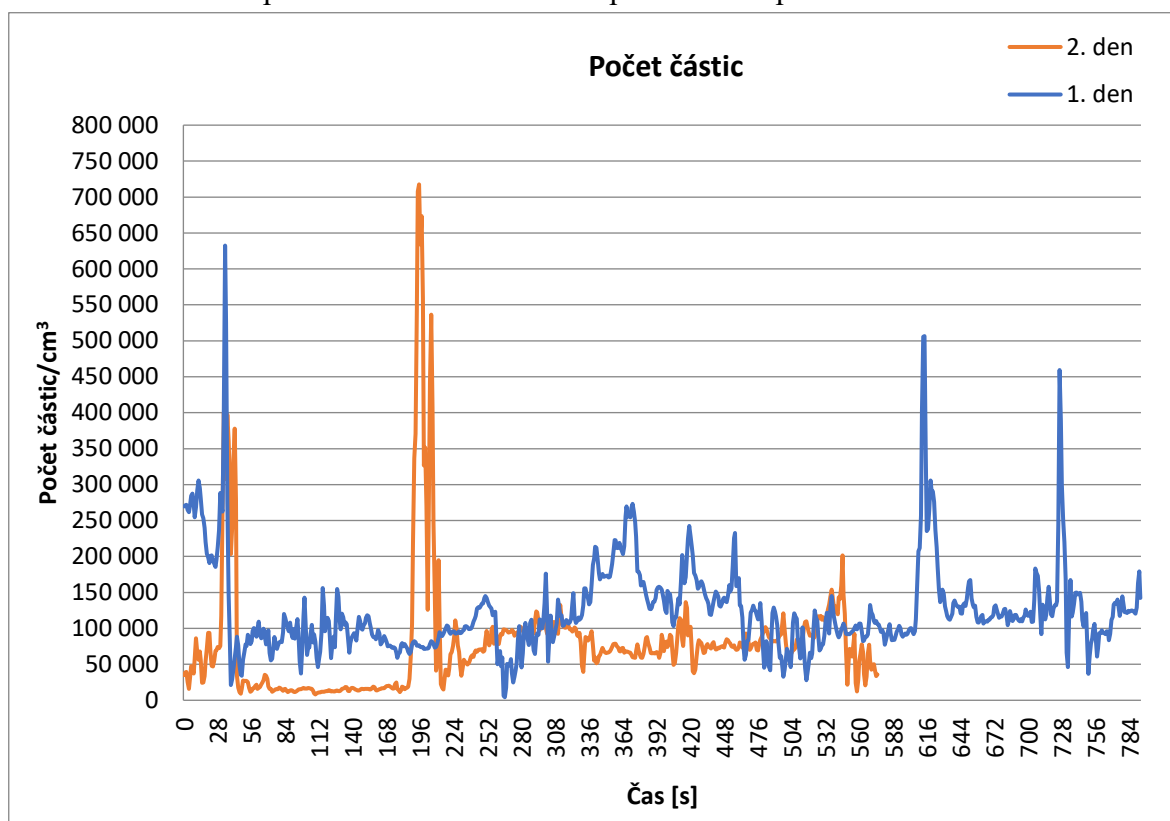
Graf 11: Početní koncentrace částic při okruhu napříč halami – den druhý



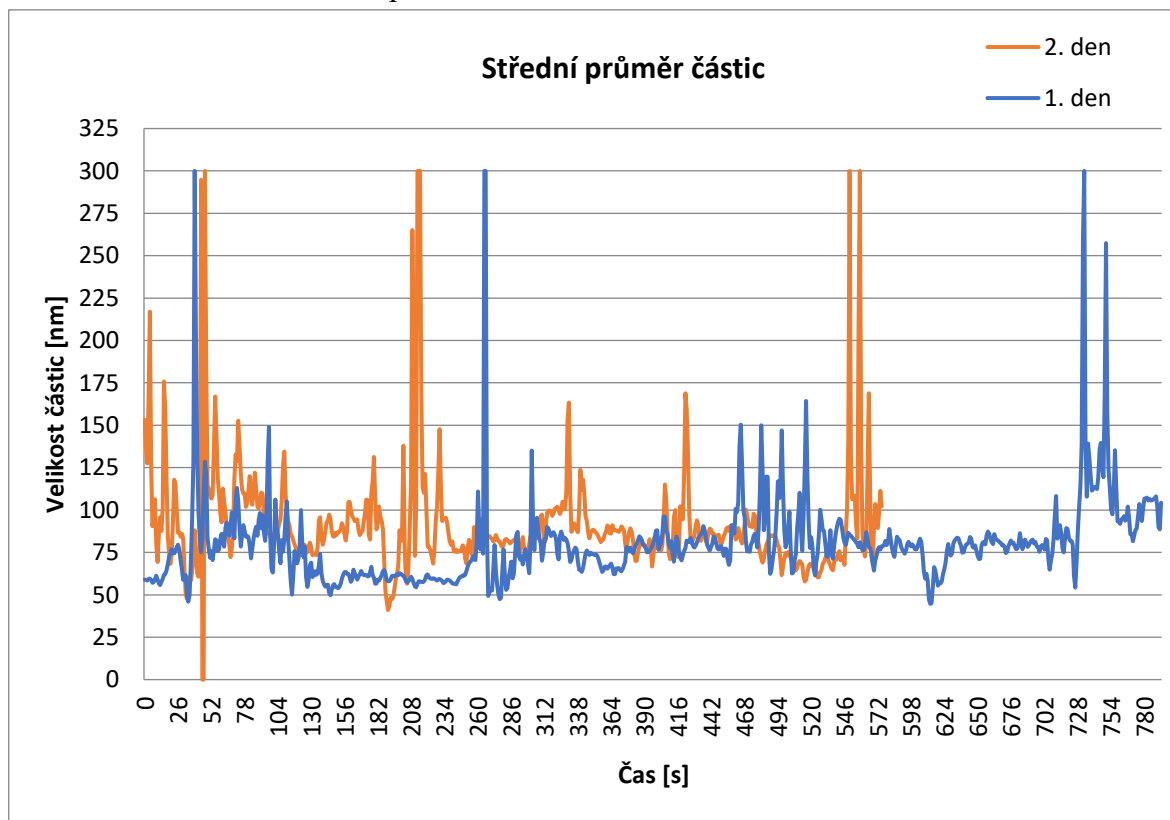
Graf 12: Střední průměr částic při okruhu napříč halami – den druhý



Graf 13: Porovnání početní koncentrace částic při okruhu v prvním a druhém dni



Graf 14: Porovnání středních průměrů částic



2. měření

Vzduchotechnika v halách je řešena přívodem „filtrovaného“ vzduchu do výduchů nacházejících se vedle nosných sloupů. Cílem tohoto měření bylo prověřit vliv vzduchotechniky a porovnat koncentraci nanočástic přímo u výduchu (měřicí přístroj umístěn cca 20 cm od sítě) a v prostoru haly (cca 2 m od sítě). Podle toho také probíhalo samotné měření, při spuštění byl přístroj nejblíže a po cca 1 minutě byl posunut v prostoru na vzdálenost 2 m od výduchu (obr. 18 a 19). Měření proběhlo u dvou samostatných výduchů nacházejících se v podstatě v centru haly.

Předpokládalo se, že hodnoty koncentrace nanočástic ve vzdálenosti 20 cm od sítě u obou výduchů budou stejné a po přesunutí do větší vzdálenosti budou hodnoty vyšší oproti těm naměřených u sítě. Tento předpoklad se NEPOTVRDIL. V podstatě byl naměřen stejný koncentrační průběh nanočástic v čase a ve vzdálenosti (20 cm oproti 2 m). U prvního výduchu byla naměřená koncentrace nanočástic vyšší ($80\,000 - 100\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$) ve srovnání s $60\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$ u druhého měření, ale zde byl nižší střední průměr částic viz grafy jednotlivých měření a následné porovnání obou měření níže.

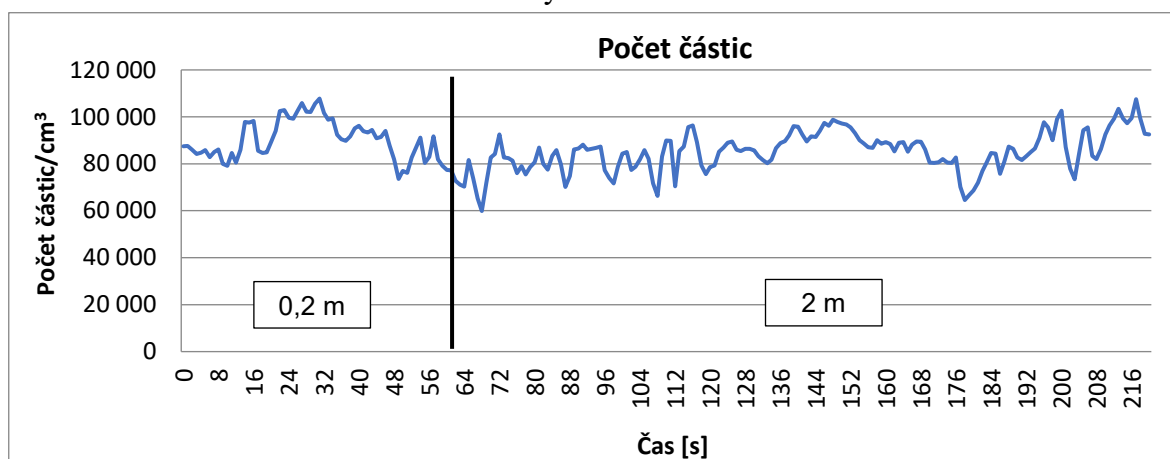


Obrázek 18: Vyústění nuceného větrání vzduchu

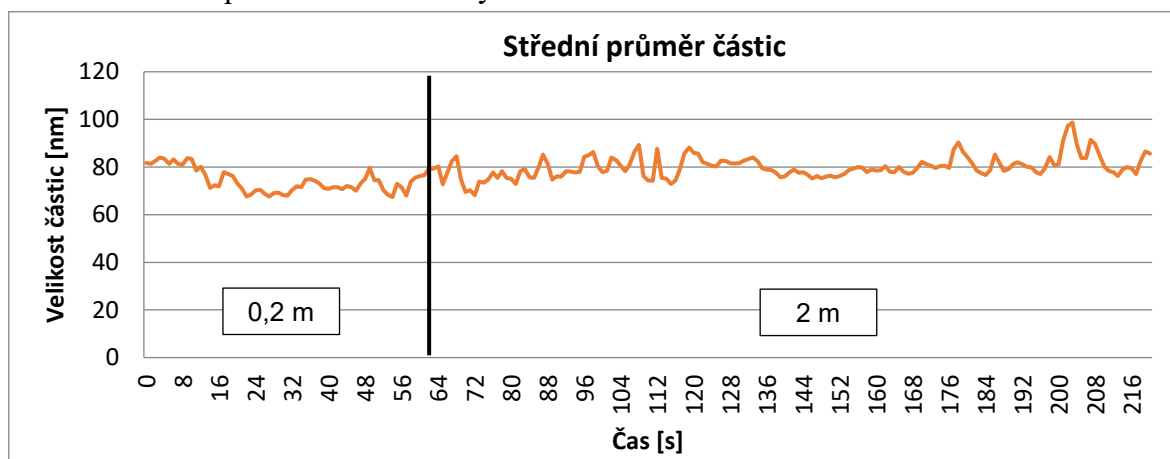


Obrázek 19: Měření ve větší vzdálenosti

Graf 15: Početní koncentrace částic u 1. vyústění nuceného větrání



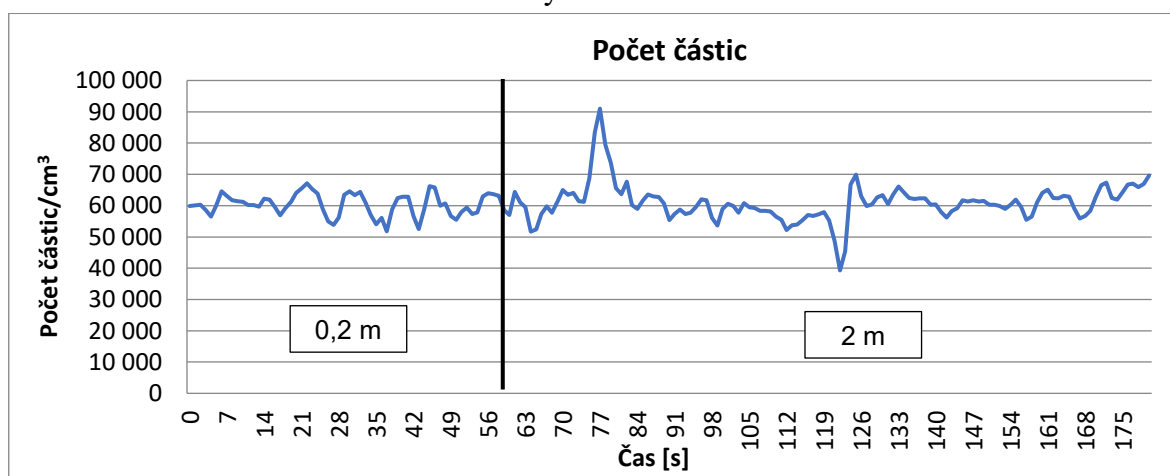
Graf 16: Střední průměr částic u 1. vyústění nuceného větrání



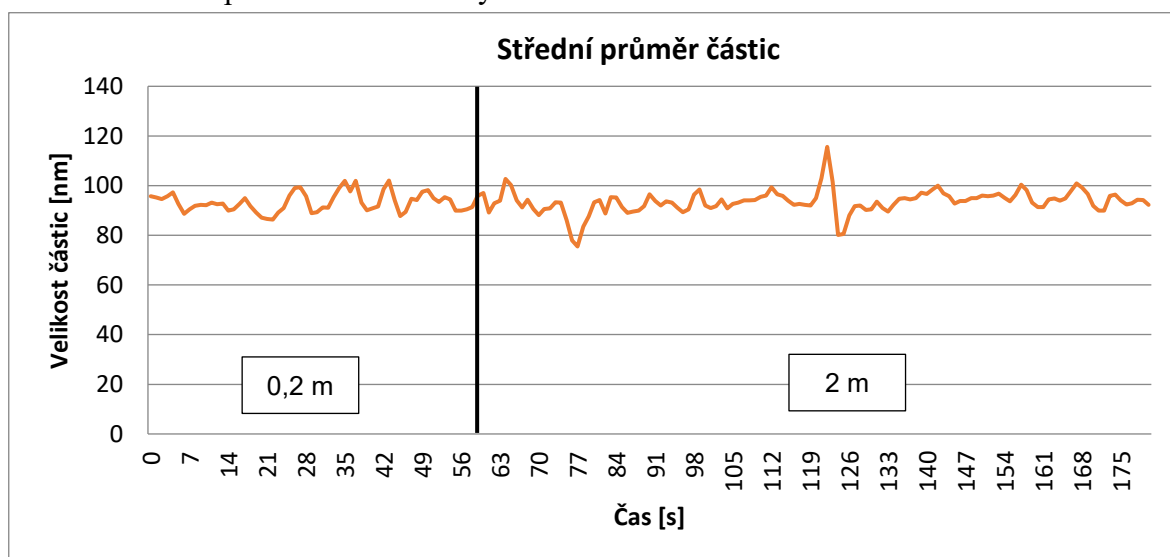
6. měření

To samé měření bylo poté provedeno ještě jednou u dalšího sloupu s nuceným větráním vzduchu.

Graf 17: Početní koncentrace částic u 2. vyústění nuceného větrání

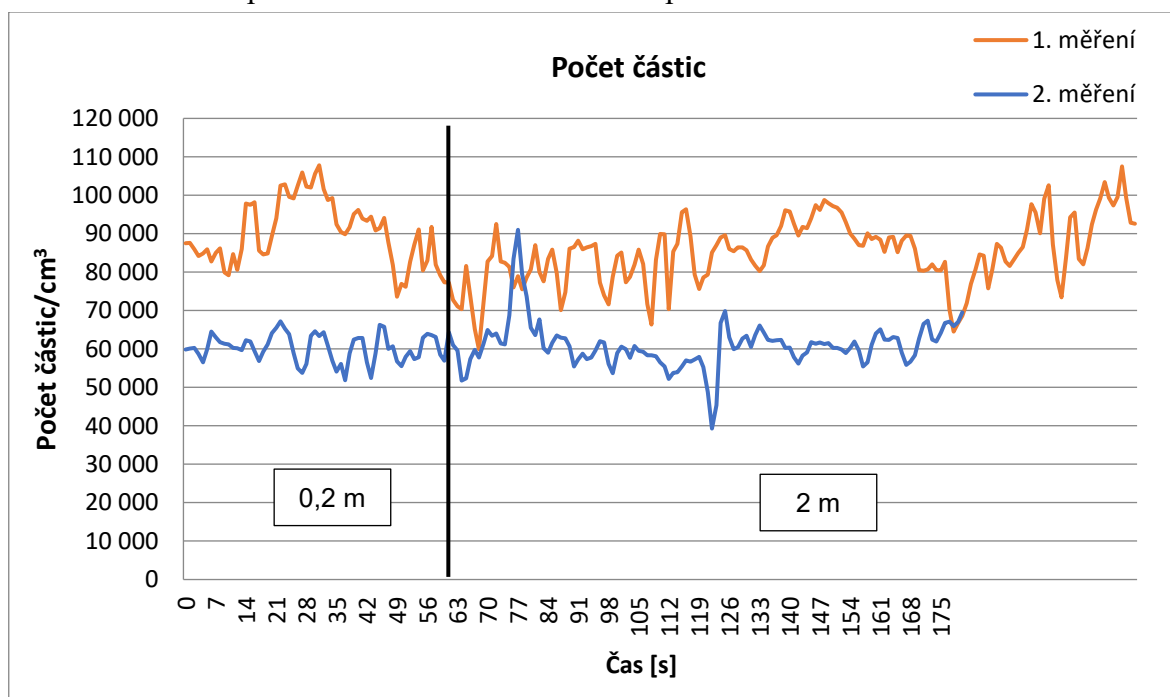


Graf 18: Střední průměr částic u 2. vyústění nuceného větrání

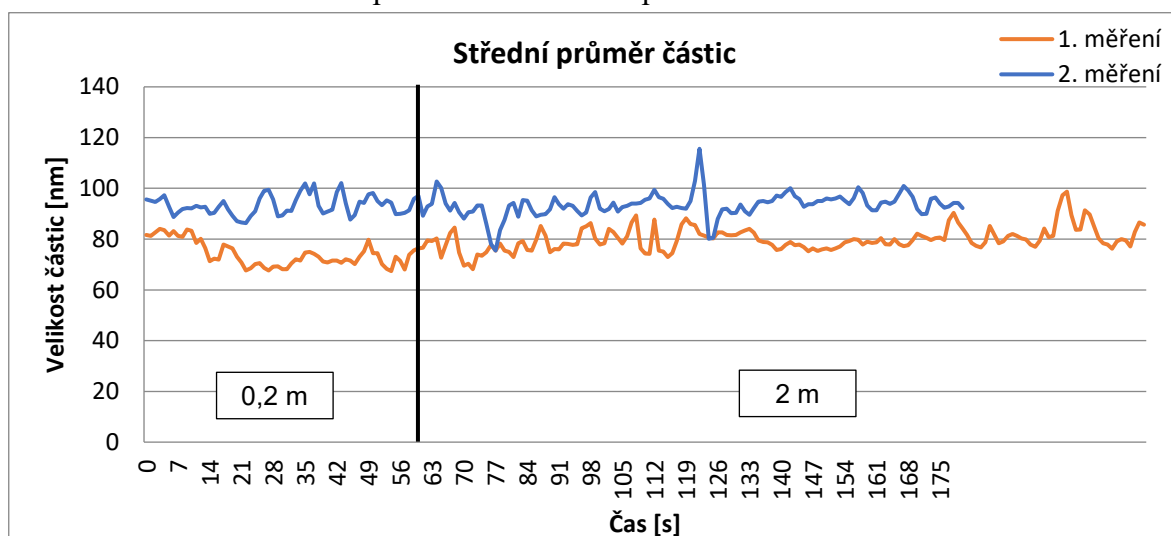


Při srovnání těchto dvou měření, kdy od sebe byly sloupy s nuceným větráním vzdáleny cca 20 metrů, můžeme vidět rozdíly mezi jednotlivými koncentracemi, které se řádově lišily zhruba o 20 tisíc částic na cm^3 . Zapříčiněno to může být buďto větším průtokem prvního potrubí nebo také tím, že v daném místě probíhalo více prací, při kterých vzniklo také více částic. Naopak velikost částic byla u prvního sloupu menší nežli u druhého.

Graf 19: Srovnání početní koncentrace částic dvou průtoků nuceného větrání



Graf 20: Srovnání středních průměrů částic dvou průtahů nuceného větrání



3.4 Výroba nábytku ve společnosti IKTUS, Zátor

Další část měření byla prováděna 8. 7. 2020 ve společnosti IKTUS ve městě Zátor, v Jeseníkách. Jedná se o společnost rodinného charakteru s cca 120 zaměstnanci, která více než 25 let navazuje na výrobu nábytku v krnovském regionu. V prvním podniku, tedy v Metrostavu, byla měření soustředěna na svařovací a brousící práce. V tesárně nacházející se ve vedlejší hale tohoto areálu, byly při příležitosti měřit i tam získány data, která mohla být později porovnána s touto výrobnou nábytku, především tedy data z kotoučové pily.

V podniku IKTUS je tedy především opracováváno dřevo. Základní motto společnosti je dbát na design, ergometrii, kvalitu používaných materiálů a perfektní řemeslnické zpracování. Produkce nábytku je široká, přesto převažuje výroba klasických rohových lavic, jídelních sestav, skříňového nábytku, postelí, komod atd. Většina technologických operací probíhá s využitím CNC strojů, a to na vrtání, frézování, řezání – dělicí pily, dále jsou používány „olepovací“ a kolíčkovací stroje. Většina CNC strojů se nachází ve výrobních halách 1 a 3, viz obr. 20 a 21.



Obr. 20: Příklady CNC strojů v hale 1



Obr. 21: Příklady CNC strojů v hale 3

Největší kumulace klasických nábytkářských strojů se nachází v hale 2 a to u zpracování masivu (obr. 22)

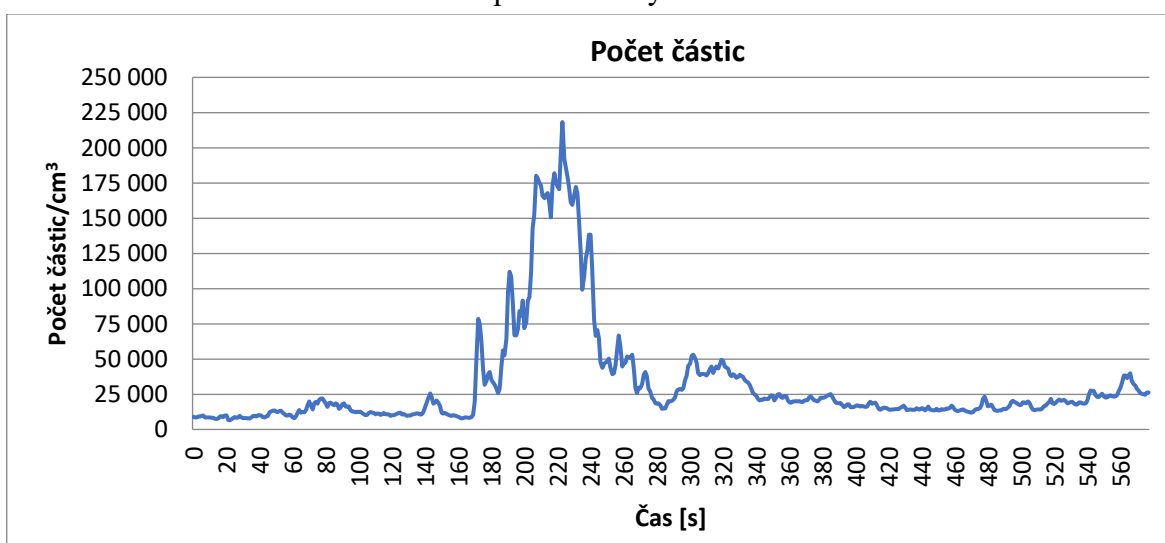


Obr. 22: Hala 2 s klasickými nábytkářskými stroji

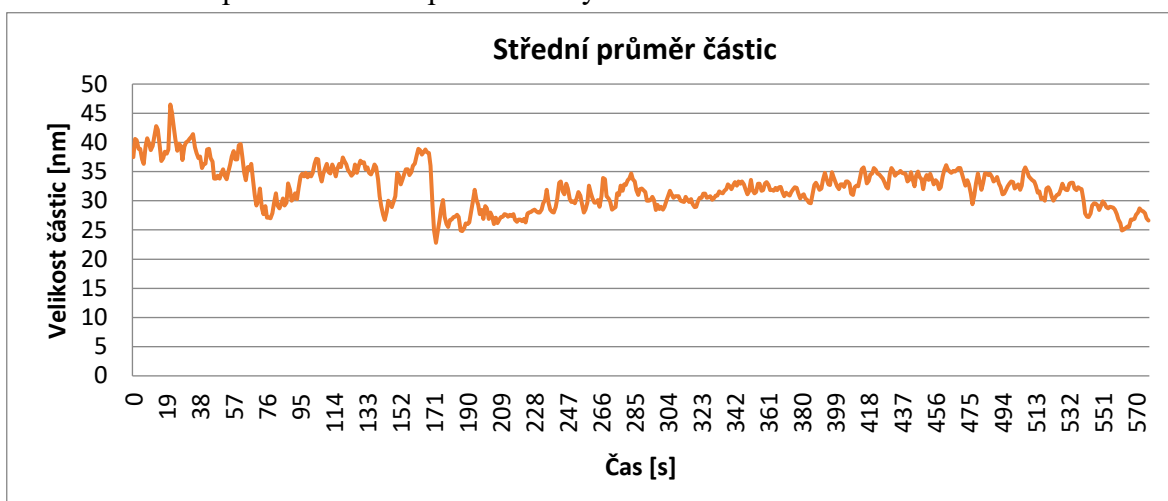
Samotné měření probíhalo za chůze s měřicím přístrojem po halách (1–4), přičemž měřicí přístroj byl umístěn ve výšce cca 1 m nad povrchem podlahy. Získané výsledky jsou opět prezentovány ve formě grafů níže, jako změna počtu částic v objemové jednotce atmosféry v čase a změna velikosti průměru částic v čase v dané výrobní hale.

Hala 1

Graf 21: Početní koncentrace částic v prostoru haly 1

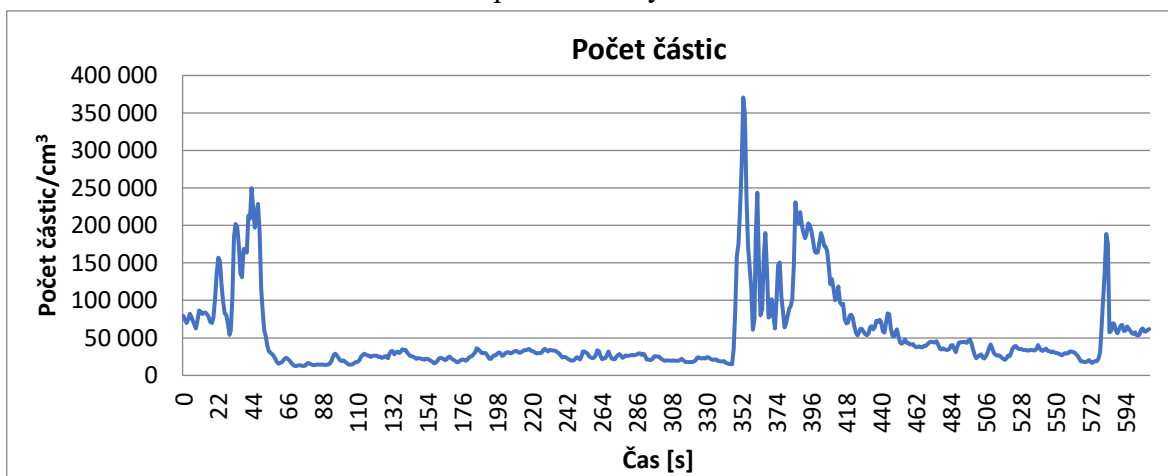


Graf 22: Střední průměr částic v prostoru haly 1

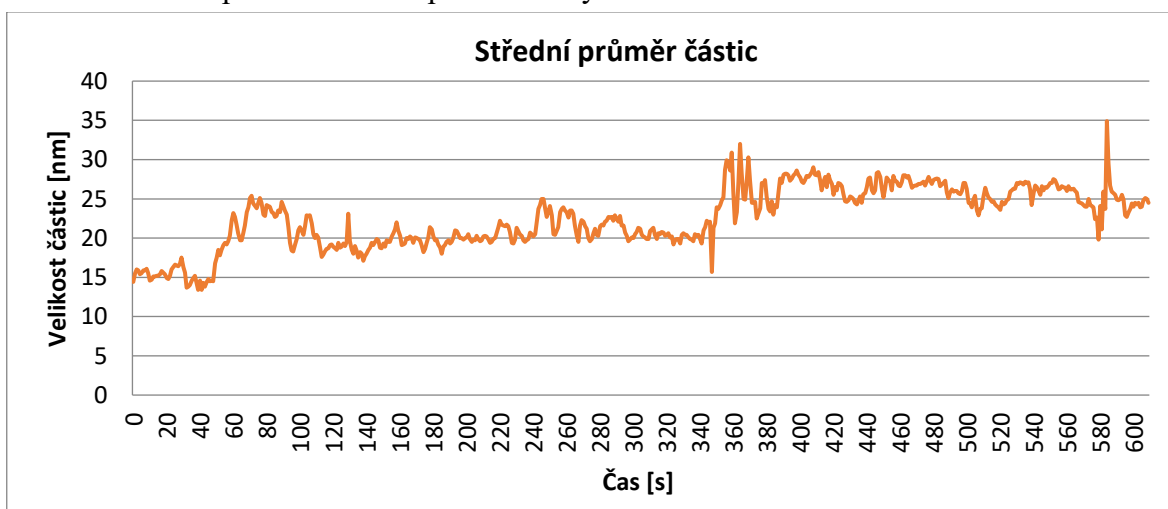


Hala 2

Graf 23: Početní koncentrace částic v prostoru haly 2

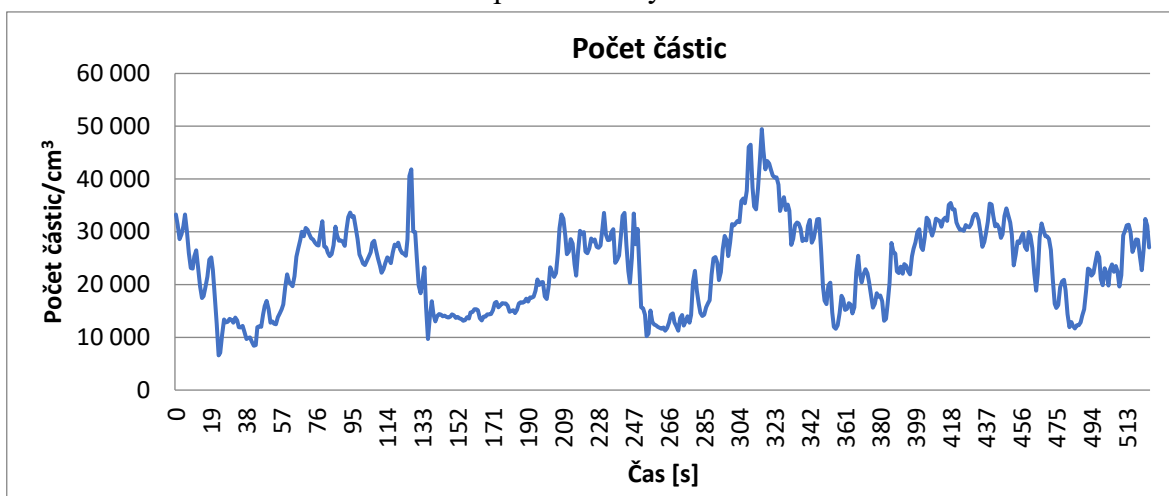


Graf 24: Střední průměr částic v prostoru haly 2

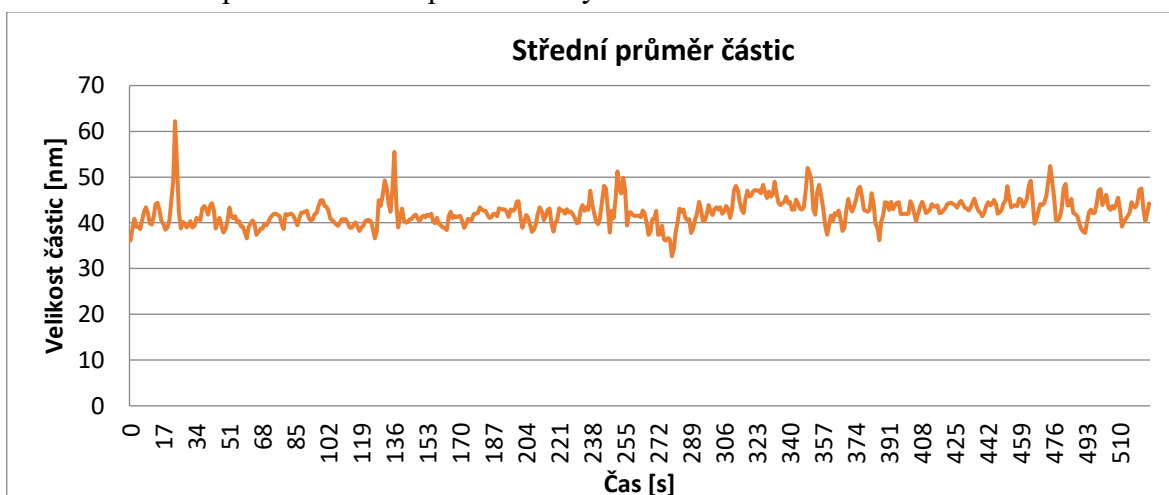


Hala 3

Graf 25: Početní koncentrace částic v prostoru haly 3

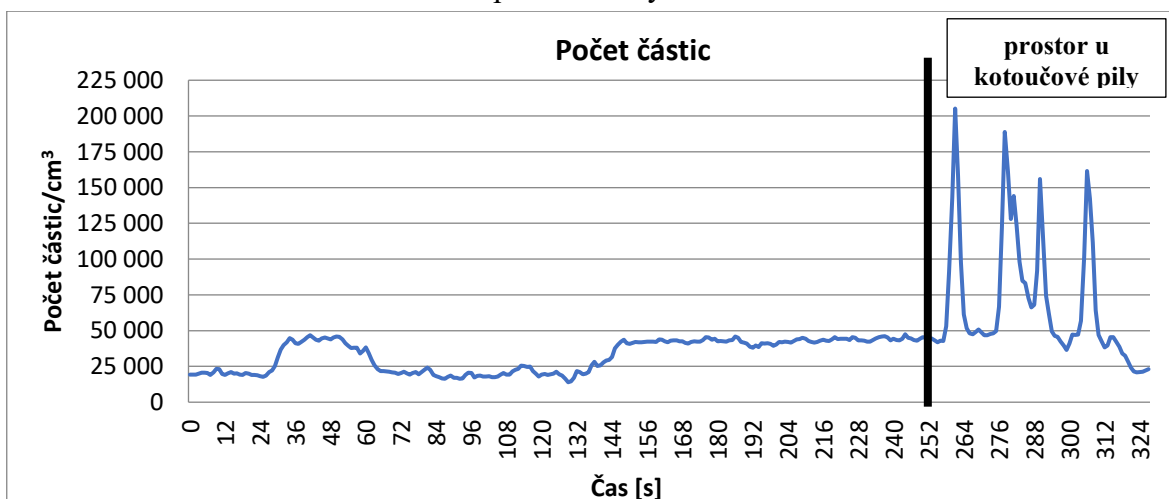


Graf 26: Střední průměr částic v prostoru haly 3

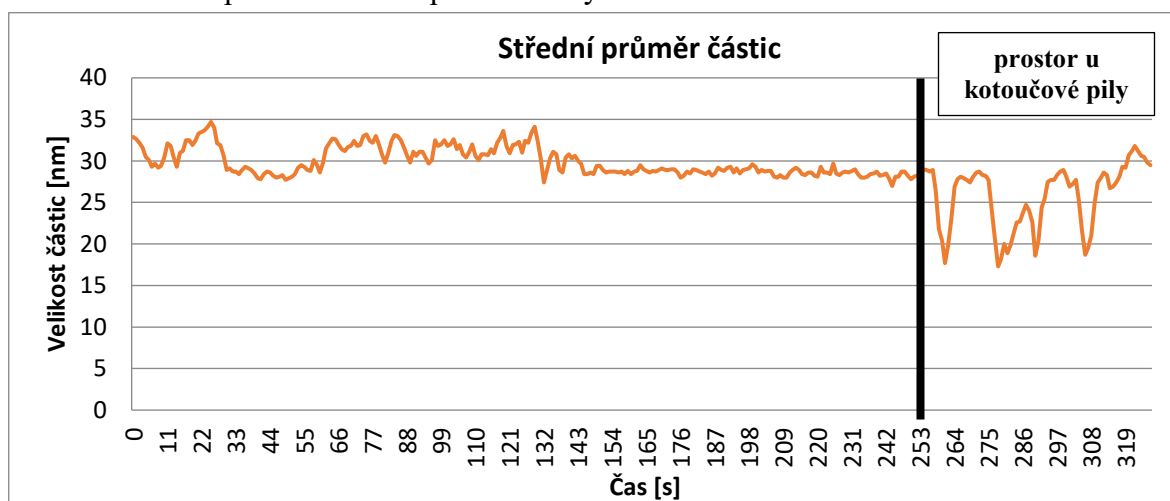


Hala 4

Graf 27: Početní koncentrace částic v prostoru haly 4



Graf 28: Střední průměr částic v prostoru haly 4



Komentář k získaným hodnotám z grafů se zaměřením na odchylky ve změřených hodnotách koncentrací je uveden níže podle jednotlivých hal.

Hala 1

Skokové navýšení koncentrace nanočástic bylo změřeno u CNC formátovací pily (obr. 23), kde získané hodnoty dosahovaly velikosti cca 150 000–200 000 $\# \cdot \text{cm}^{-3}$, a to při výjezdu polotovaru ze stroje.



Obr. 23: CNC formátovací pila v hale 1

Hala 2

V této hale jsme z hodnot měření identifikovali prostor, kam jsou nanočástice z části haly lokalizovány (obr. 24), a to u spodní frézy u volných krků odsávání, kde se jejich koncentrace pohybovala v hodnotách 200 000–300 000 $\# \cdot \text{cm}^{-3}$.



Obr. 24: Volné krky odsávání u spodní frézy v hale 2

Hala 3

V této hale, kde jsou opět další CNC stroje dochází poměrně k pravidelné pulzaci hodnot koncentrací nanočástic viz graf 25, a to od $10\,000\ \text{\#}\cdot\text{cm}^{-3}$ do $35\,000\text{--}50\,000\ \text{\#}\cdot\text{cm}^{-3}$ se stabilními hodnotami středního průměru částic mezi 40–50 nm.

Hala 4

V hale 4 je umístěn lis, kolíčkovací stroje a kotoučová pila, která je opatřena plastovým chráničem s připojením na odťah viz obr. 25, přesto v okolí obsluhujícího dělníka byly naměřeny koncentrace s pulzující hodnotou až $200\,000\ \text{\#}\cdot\text{cm}^{-3}$ (graf 27) a s poklesem středního průměru částic z 28 nm na 17 nm.



Obr. 25: Kotoučová pila v hale 4 s připojením na odťah

3.5 Vyhodnocení měření

IKTUS

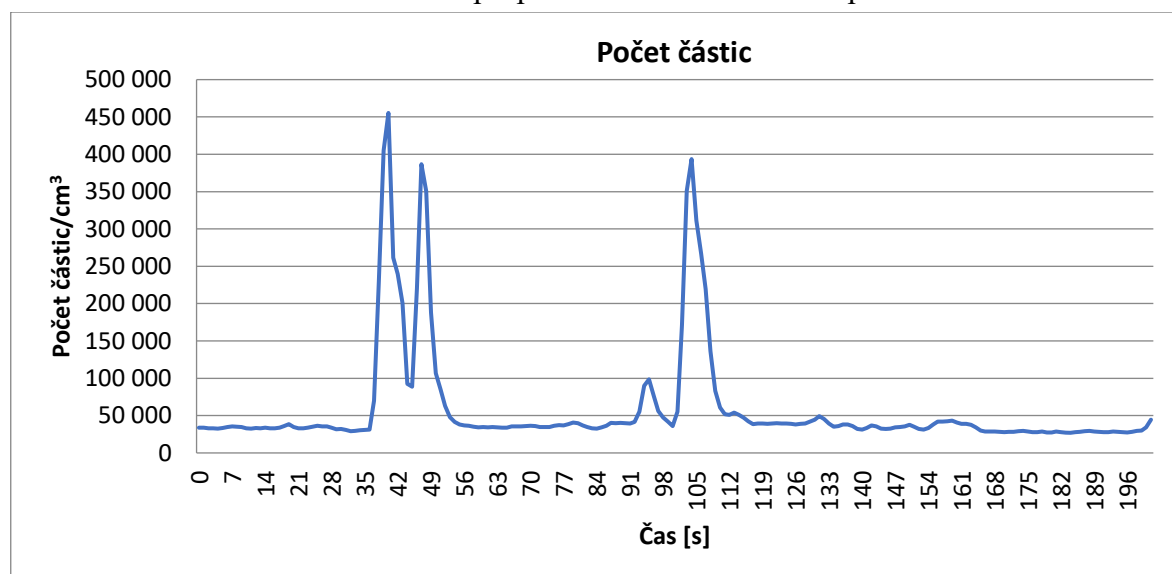
Během měření, a to v hale 4 u kotoučové pily, maxima koncentrací nanočástic, odrážejí minima hodnot středních průměrů viz graf 27 a graf 28 výše.

Odborné výsledky na stolní kotoučové pile se potvrdily i při měření v truhlářské dílně, která se nacházela v areálu Metrostavu a.s., kde pracovník řezal prkna z dřevotřísky (dubové). Měřicí přístroj byl vzdálen cca 1 m od řezacího stroje (obr. 27). Ačkoli v případě kotoučové pily v podniku Iktus byl přítomen plastový chránič s odtahem pilin při řezání, skokové hodnoty byly i zde výrazně větší než při klidovém stavu. V podniku Metrostav odtaž u kotoučové pily nebyl a skokové hodnoty byly až dvojnásobné oproti dříve zmíněných výsledků z výroby nábytku Iktus.

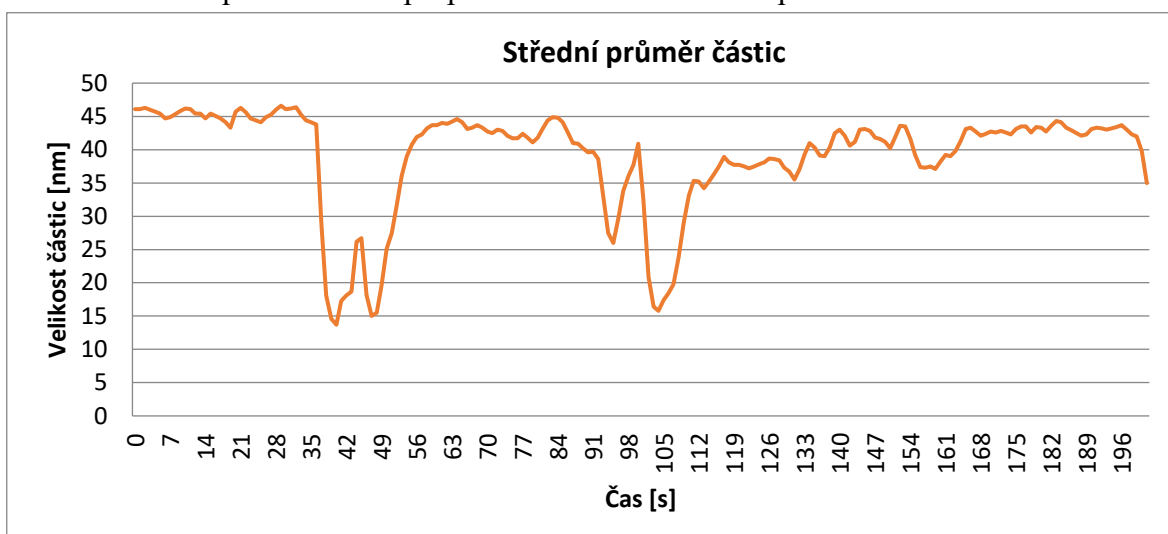
Následující grafy znázorňují velké výkyvy mezi lokálními maximy koncentrací a propadem v hodnotách středního průměru částic. Maximum koncentrace $450\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$, pokles středního průměru nanočástic z 45 nm na 16 nm, další lokální maximum koncentrace $380\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$, pokles středního průměru nanočástic z 45 nm na 15 nm, poté maximum koncentrace $100\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$, pokles středního průměru nanočástic z 40 nm na 25 nm, a poslední lokální maximum koncentrace $400\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$, pokles středního průměru nanočástic z 40 nm na 15 nm, viz graf 29 a 30.

Naměřená data ze stolní kotoučové pily v podniku Metrostav:

Graf 29: Početní koncentrace částic při práci na stolní kotoučové pile



Graf 30: Střední průměr částic při práci na stolní kotoučové pile



Obrázek 27: Práce na stolní kotoučové pile

Metrostav a.s.

Zmapované pracovní prostředí hal vykázalo zvýšenou koncentraci nanočástic v hodnotách cca $100\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$ s dílčími koncentračními maximy, které ovlivnila blízkost probíhající technologie.

Po měření v nespecifikovaných prostorech hal se přistoupilo k měření u vybraných svářečských operacích, a to u otvoru uzavřeného segmentu ($\text{max. } 400\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$), u otevřeného segmentu ($\text{max. } 700\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$), kombinace broušení a svařování ($\text{max. } 160\,000 \text{ \#}\cdot\text{cm}^{-3}$).

Překvapením jsou výsledky z měření výduchů vzduchotechniky v halách. Z těchto výsledků vyplývá, že k odfiltrování nanočástic nedošlo vůbec nebo jen částečně, pouze proběhla cirkulace atmosféry z hal s určitým promícháním, což rozhodně nelze považovat za účinné.

3.6 Závěry měření

Metrostav a.s.

Poté, co byly zjištěny nečekané výsledky u výduchů vzduchotechniky, bylo navrženo a promyšleno, zda do této technologie investovat. Pro zástupce firmy Metrostav to byl poměrně šokující výsledek. Oprava by v tomto případě byla pravděpodobně nereálná nebo obdobně nákladná jako koupě nové. Konkrétní provedení již je na pověřených osobách podniku Metrostav. Pro výsledky této práce je však důležité, že díky měření byl tento nedostatek odhalen a byla přislíbena jistá finanční investice do nápravy. V měřítku tak velkého provozu s takovým množstvím svařovacích a brousících prací je takřka nezbytné, aby vzduchotechnika fungovala správně a bylo tak umožněno pracovníkům dýchat co nejčistší vzduch. Pro případ prozatímní nebo kvůli nemožnosti odstranit rizika prostředky kolektivní ochrany, organizačními či technickými opatřeními je v následující kapitole znázorněn postup aplikace poskytnutí osobních ochranných prostředků podle certifikované metodiky.

Výrobna nábytku Iktus

V tomto případě zcela klíčovou roli v produkci nanočástic sehrávaly dřevozpracující stroje, především díky jejich nedokonalému zakrytování nebo odsávání dochází při jejich činnosti k vysokým koncentracím nanočástic. Zde by bylo naprosto klíčové pokusit se zajistit modernější CNC stroje, které jsou celé zakrytované a mají daleko lepší schopnost odvodu pilin a dřevného prachu. Je však jasné, že taková modernizace vyžaduje velké množství finančních prostředků a rozhodně by nebylo možné takový proces učinit hned a s výměnou všech strojů. Další možností by bylo také změnit technologie pro zpracovávání dřeva, ale i toto řešení naráží na finanční úskalí a také fakt, že by se musely změnit technologické postupy, na které byli do teď v této firmě zvyklí a přizpůsobení. Dřevní prach může při rozvíření a přítomnosti iniciačního zdroje způsobit i výbuch, proto by tyto modernizace nepřinesly užitek jen pro zlepšení vzdušného prostředí, ale i jako prevence proti vzniku mimořádné havárie spojené s výbuchem. V případě, že by ani zde nebylo možno

eliminovat rizika prostřednictvím kolektivní ochrany, organizačními či technickými opatřeními, v následující kapitole je rozebrán návrh na poskytování ochranných pracovních prostředků v prostředí s rizikem výskytu nanočástic.

3.7 Návrh na poskytnutí OOPP v prostředí s rizikem výskytu nanočástic

Certifikovaná metodika pro poskytování osobních ochranných pracovních prostředků (OOPP) v prostředí s rizikem výskytu nanočástic byla vytvořena týmem z Výzkumného ústavu bezpečnosti práce (VÚBP) v Praze a zveřejněna byla v listopadu 2016. Je zaměřena na zaměstnavatele při rozhodovacím procesu, na jehož základě rozhodne o potřebě přidělování OOPP pro ochranu dýchadel, takzvané ochranné prostředky dýchacích orgánů (OPDO). Tato metodika řeší pouze ochranu dýchadel před působením nanočástic v pracovním prostředí, kde lze předpokládat výskyt nanočástic cíleně vyráběných nebo na pracovištích, kde jsou necíleně produkovány. [25]

Pokud bychom postupovali podle Nařízení vlády č. 495/2001 Sb., kterým se stanoví rozsah a bližší podmínky poskytování osobních ochranných pracovních prostředků, mycích, čistících a dezinfekčních prostředků, nalezneme v příloze č. 1 tabulku, v níž jsou v řádcích uvedeny části těla a ve sloupcích možná rizika expozice dané části těla. To je ovšem velmi nepřesné rozlišení a v dostupné české literatuře přesnější požadavky pro zpřesnění rizik a výběr správných a cílených OOPP nejsou. [25]

Kromě nepřesného rozlišení rizik je nutno podotknout, že problematika výskytu nanočástic zde schází úplně. Proto je v tomto případě vhodné onu zmíněnou tabulku doplnit ještě vlastními sloupci s rozlišením rizik např. právě s odkazem na nanočástice. Důležité je potom zaměřit se i na přesnější identifikace škodlivin, kterými mohou být částice (zde je důležité uvést jejich velikost, extrémem jsou nanočástice), plyny, páry a jejich různé kombinace. V rámci hodnocení rizik pro přidělení OPDO je nutné získat také informace o charakteru a koncentracích škodlivin, s nimiž běžně pracovník přichází na pracovišti do styku. Takto získaná data je potřeba porovnat s přípustnými expozičními limity (PEL) a nejvyššími přípustnými koncentracemi (NPK-P), ty jsou stanoveny např. v Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění pozdějších předpisů. [25]

Samotná metodika se skládá z několika postupových kroků, které směřují k rozhodnutí o potřebě přidělit zaměstnanci OPDO. Jedná se o obecný postup založený na principu předběžné opatrnosti a zohledňující stávající stav poznání. Výstup z metodiky je však potřeba brát jako informativní a pomocný, a to hlavně z důvodu nedostatku toxikologických údajů, znalosti o charakteru nanočástic, znalostem o způsobu jejich možného využití a manipulace s nimi, znalosti o rychle měnících se pracovních postupech a také samozřejmě chybějící hodnoty limitů pro oblast nanočástic. [25]

Krok 1: Vymezení pracovního systému, zpracování seznamu pracovišť a činností a identifikace nebezpečí

V této části se vypracuje soupis pracovišť a činností, kde lze předpokládat zvýšený výskyt. Sledovat by se měly především takové výskyty nanočástic, které se v přirozeném prostředí člověka běžně nevyskytují. Lze předpokládat, že dotčená pracoviště jsou taková, kde je s nanočásticemi manipulováno, nebo jsou cíleně vyráběny a také ty, kde probíhají činnosti jako: broušení, metalurgie, mletí, řezání, sklářský a keramický průmysl, spalování, střelba, svařování. Toto kritérium bylo v experimentální části této diplomové práce splněno, vzhledem k tomu, že byly sledovány především procesy svařování a broušení v případě podniku Metrostav a řezání v případě podniku Iktus. Opomenuty by neměly být ani úklidové činnosti, při kterých dochází k víření vzduchu, a tedy ke vznosu usazených částic.

Krok 2: Stanovení doby expozice

Pro každého zaměstnance, který se vyskytuje na pracovištích identifikovaných dle předchozího kroku se stanoví doba expozice nanočásticím v pracovním ovzduší. Vzhledem k současným znalostem byly vytyčeny 4 kategorie:

Tabulka 5: Kategorie pro stanovení doby expozice [25]

| Kategorie | Jednoduchý popis |
|-----------|---|
| 1 | Předpokládá se doba expozice v rámci pracovní směny cca do 1 hod./den, resp. do 5 hodin za týden. |
| 2 | Předpokládá se doba expozice v rámci pracovní směny od 1 do 3 hod./den, resp. od 5 do 15 hodin za týden. |
| 3 | Předpokládá se doba expozice v rámci pracovní směny od 3 do 6 hod./den, resp. od 15 do 30 hodin za týden. |
| 4 | Předpokládá se doba expozice v rámci pracovní směny nad 6 hod./den, resp. nad 30 hodin za týden. |

Krok 3: Stanovení nebezpečnosti

V tomto kroku je nezbytné provést měření, případně odborný odhad, jelikož jsou zde jednotlivé kategorie rozděleny podle koncentrace částic v pracovním prostředí.

Tabulka 6: Kategorie pro stanovení nebezpečnosti [25]

| Nebezpečnost | Jednoduchý popis |
|--------------|--|
| I. | Nanočástice (dále neuvedené) vznikající při činnostech, kdy lze předpokládat jejich zvýšenou produkci (příklady vyjmenované v kroku 1) s koncentrací do 9 999 částic v cm ³ pracovního ovzduší. |
| II. | Nanočástice (dále neuvedené) vznikající při činnostech, kdy lze předpokládat jejich zvýšenou produkci (příklady vyjmenované v kroku 1) s koncentrací od 10 000 do 19 999 částic v cm ³ pracovního ovzduší. |
| III. | Nanočástice působící díky svým vlastnostem* jako dráždivé a leptavé; případně další nanočástice v početní koncentraci od 20 000 do 39 999 částic v cm ³ pracovního ovzduší. |
| IV. | Nanočástice uměle tvořené; případně další nanočástice o hustotě nižší než 6 000 kg/m³ v početní koncentraci nad 40 000 částic v cm ³ pracovního ovzduší. |
| V. | Nanočástice působící díky svým vlastnostem* jako toxické, vysoce toxické, karcinogenní či mutagenní; vláknité nanočástice a azbestu podobné částice; případně další nanočástice o hustotě vyšší než 6 000 kg/m³ v početní koncentraci nad 40 000 částic v cm ³ pracovního ovzduší. |

*Nebezpečnost nanočástic je ovlivněna například jejich chemismem, fyzikálními vlastnostmi, krystalickou strukturou, hustotou, či schopnostmi agregace, aglomerace a sedimentace.

Pokud by se stalo, že by nanočástice, které jsou v pracovním prostředí předpokládány, svými vlastnostmi odpovídají zařazení do více skupin nebezpečnosti, vybírá se vždy horší skupina, tzn. budou-li se v pracovním ovzduší vyskytovat nanočástice s leptavými vlastnostmi a s hustotou nad 6 000 kg/m³ a v koncentraci nad 40 000 částic/cm³ pracovního ovzduší, budou tyto částice zařazeny do V., nikoliv do III. skupiny nebezpečnosti. [25]

Dále se zde také nachází tabulka s výčtem látek, u kterých se skupina nebezpečnosti zařazuje právě podle této tabulky, pokud jsou v pracovním prostředí přítomny buďto samotné, nebo v jistých formách sloučenin.

Krok 4: Hodnocení rizik spojených s působením nanočástic

Poté, co byla určena doba expozice a zařazení do skupin nebezpečnosti, je třeba vyhodnotit rizika, která jsou spojena s působením nanočástic. K tomuto kroku slouží matice, kde jsou uvedeny skupiny nebezpečnosti a kategorie expozice a v příslušných polích jsou poté uvedeny hodnoty rizika. Výsledné riziko může nabývat hodnot 1, 2 a 3. Následující tabulka vyjadřuje míru tohoto rizika. [25]

Tabulka 7: Míra rizika [25]

| Hodnota | Jednoduchý popis |
|---------|--|
| 1 | Nepředpokládá se významné ovlivnění zdraví zaměstnance působením nanočástic. Riziko potenciálních negativních zdravotních dopadů spojené s působením nanočástic na zaměstnance lze vnímat jako přijatelné. Není pravděpodobně nutné realizovat bezpečnostní opatření. Během činností, kde dochází k uvolňování nanočástic do ovzduší je však vhodné používat OPDO. |
| 2 | Nelze vyloučit negativní ovlivnění zdraví zaměstnance působením nanočástic. Riziko potenciálních negativních zdravotních dopadů spojené s působením nanočástic na zaměstnance lze vnímat jako podmíněně přijatelné. Při práci je doporučováno používat OPDO. |
| 3 | Předpokládá se negativní ovlivnění zdraví zaměstnance působením nanočástic. Riziko potenciálních negativních zdravotních dopadů spojené s působením nanočástic na zaměstnance lze vnímat jako nepřijatelné. Při práci je doporučováno vždy používat OPDO. Spolehlivost OPDO, které jsou přidělené zaměstnanci, musí být vždy individuálně otestovány. |

Následující tabulka pak zobrazuje výslednou matici rizik spojených s působením nanočástic.

Tabulka 8: Výsledná matice rizik

| Kategorie doby expozice | Skupina nebezpečnosti | | | | |
|-------------------------|-----------------------|-----|------|-----|----|
| | I. | II. | III. | IV. | V. |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |

Takto provedené hodnocení rizika je pochopitelně pouze informativní. V případě potřeby zvýšení bezpečnosti se doporučuje dále postupovat podle návrhu v příloze č. 1 této metodiky, je však náročnější na vstupní data a je potřeba měření nanočástic v daném prostředí.

Uvedené hodnocení rizik se týká pouze oblasti nanočástic. Je nutno brát v úvahu, že v konkrétních podmínkách daného provozu se budou v ovzduší pravděpodobně vyskytovat i další škodliviny ve formě aerosolů, rozptýlených větších pevných částic nebo plynů s různou koncentrací.

Krok 5: Odstranění / omezení rizik a přidělení OOPP

V případě, že v matici vyjde jako výsledek hodnota 2 nebo 3, je vhodné provést opatření pro snížení rizika ovlivnění zaměstnance působením nanočástic. Dle klasické hierarchie řízení rizik je vhodné provést opatření technická a organizační. Případně pomocí opatření individuálních, resp. pomocí OOPP, či přesněji v tomto případě OPDO. V případě výskytu nanočástic látek, které jsou vyjmenovány ve výše zmíněné tabulce (Tab. 2 v metodice) je doporučeno využívat OPDO vždy. V případě, kdy je riziko identifikováno hodnotou 3, případně 2, a kdy je spojeno s působením nanočástic, které jsou uvedeny ve zmíněné tabulce, je vhodné věnovat se i dalším možnostem pronikání nanočástic do organismu a uvažovat například vhodnou ochranu zraku. [25]

OPDO dostupné na českém a evropském trhu lze považovat jako vhodné pro použití i pro ochranu před působením nanočástic. V případě extrémního působení nanočástic je doporučeno upřednostnit ochranu zaměstnanců pomocí technických prostředků, resp. použitím kolektivní ochrany. [25]

Aplikace certifikované metodiky pro poskytování OOPP v prostředí s rizikem výskytu nanočástic na provedená měření v rámci experimentální části

Z obou podniků byl vytvořen přehledný kontrolní list pro shrnutí poznatků z terénního měření (viz kapitola 3.8 Kontrolní listy z měření – níže), kde jsou vypsány jednotlivá pracoviště, na kterých byly prováděny měření koncentrace nanočástic a jejich velikosti a v tabulce jsou zaznamenány zjištěné výsledky.

Metrostav

Na všech pracovištích v areálu Metrostav při svářečských nebo brousících pracích byly naměřeny koncentrace nanočástic větší než 40 000 na cm³ (viz kontrolní list níže), tudíž ačkoli neznáme hustotu nanočástic, již ze zjištěné koncentrace je možno tyto pracoviště zařadit (dle Tab. 6) do **IV.** nebo **V.** kategorie nebezpečnosti. Vzhledem k tomu, že pracovníci zde tráví absolutní většinu své pracovní doby, zatřídění podle doby expozice (Tab. 5) spadá do kategorie **4**, kdy je dáno že pracovníci jsou exponováni nanočásticím více než 6 hodin denně, resp. více než 30 hodin týdně.

Výsledná matice rizik poté tyto pracoviště hodnotí výsledkem **3**, tudíž je na místě pracovníky vybavit OPDO a pravidelně sledovat jejich zdravotní stav.

V kontextu tohoto podniku by bylo vhodné, kdyby každý svářeč měl své zařízení pro odtah zplodin, někteří je totiž z organizačních důvodů mít nemohli a byli vybaveni pouze kuklou a svářečským štítem. Pro pracoviště, kde probíhá broušení, by mohl být vhodným OPDO např. respirátor.

Iktus

Obdobné výsledky jako v Metrostavu lze konstatovat i po vyhodnocení kontrolního listu z druhého podniku v pořadí – nábytkářské firmy Iktus. Ačkoli zde jsou koncentrace nanočástic nižší, pouze na jediném měřeném pracovišti (CNC stroje) nebyly naměřeny výsledky vyšší než 40 000 částic na cm³, avšak tuto hranici atakovaly. Na těchto pracovištích se také vyskytují většinu pracovní doby a výsledná hodnota bude rovněž **3**.

Vhodné by bylo, aby pracovníci především u strojů jako frézka, kotoučová pila nebo CNC formátovací pila, kde byly zaznamenány největší nárůsty koncentrací nanočástic, používali kromě ochrany očí i ochranu dýchacích cest, která by podstatně snížila respirabilní frakci v jejich okolí.

3.8 Kontrolní listy z měření

| |
|--|
| KONTROLNÍ LIST PRO SHRNUTÍ POZNATKŮ Z TERÉNNÍHO MĚŘENÍ KONCENTRACE NANOČÁSTIC |
| Metrostav a.s. |

Název výzkumného úkolu:

Hodnocení nebezpečnosti nanočástic na pracovištích a možnosti prevence

Název provozu: Metrostav a.s., Divize 3, Praha 9, Horní Počernice

Termín měření: 19. – 20. 5. 2020

Počet zaměstnanců v celém provozu: 20

z toho u hlavního zdroje emisí: 15

Hodnoty naměřených koncentrací:

| Měřicí den | Měřicí místo | Početní koncentrace částic [#·cm ⁻³] | Střední průměr částic |
|------------|--------------------------------------|---|--------------------------|
| 1. | Okruh napříč celým podnikem (1.) | 50 000 – 250 000 | 80 nm |
| | U otvoru do jednoho ze segmentů | 100 000 – 400 000 | 100 nm |
| | U svařujícího pracovníka | 90 000 – 140 000 | 80 nm |
| | Svařování u segmentu – most Pirna | 200 000 – 700 000 | 80 nm |
| | Broušení a svařování | 50 000 – 180 000 | 80 nm |
| 2. | Okruh napříč celým podnikem (2.) | 20 000 – 100 000 | 90 nm |
| | Vyústění nuceného větrání (1.) | 60 000 – 100 000 | 80 nm |
| | Vyústění nuceného větrání (2.) | 50 000 – 70 000 | 90 nm |

Odhadnuté složení částic: svářečské dýmy, prach z brousících prací (ocel)

Toxicita nanočástic: ocel typu P355NL2 obsahuje legující prvky jako křemík, mangan, měď, nikl, chrom

Hlavní technologie provozu: několik druhů svařování (ruční obloukové svařování tavící se elektrodou, obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu, obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu, obloukové svařování pod tavidlem drátovou elektrodou,

obloukové svařování pod tavidlem více drátovými elektrodami, obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu, plamenové svařování, zdvihové přivařování svorníků, řezání kyslíkem, plazmové řezání, drážkování stlačeným vzduchem v elektrickém oblouku)

Vedlejší technologie provozu: broušení ručními bruskami

Pomocné technologie provozu: zvedání materiálu pomocí jeřábů, přesun materiálu, ruční manipulace s materiálem, zametání, úklid, obsluha ostatních strojů na obrábění materiálu (pilovrtací centrum, plazmový automat, tryskací zařízení), nucené větrání vzduchu

Hlavní zdroj emisí v provozu: svářečské práce, brousící práce, rozvířování prachu při úklidu nebo po dokončení daného úkonu, neefektivní nucené větrání vzduchu

Popis proudění vzduchu v provozu: zavedeno nucené větrání s cirkulací vzduchu, stálé větrání skrz okna, při potřebě manipulace s většími materiály – větrání skrze vrata

ZAVEDENÁ OPATŘENÍ

| OPATŘENÍ | ANO | NE | Pozn. |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
| Úprava přirozeného větrání na pracovišti | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | nelze více ovlivnit |
| Zavedené odsávání | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | osobní zařízení pro filtraci vzduchu – nemají všichni |
| Nucená filtrace vzduchu | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | nejkritičtější bod, přislíbena náprava |
| Instalace uzavřených boxů | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Instalace CNC strojů | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Dodržování principu opatrnosti | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Čistota v provozu | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | neudržitelné v tomto typu provozu |
| Je dostatečná údržba | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Dostatečné množství OOPP a OPDO | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | nedostatečné chránění dýchacích cest |
| Zajištění pracovnílékařské služby | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | již zavedeno |

KONTROLNÍ LIST PRO SHRnutí POZNATKŮ Z TERÉNNÍHO MĚŘENÍ KONCENTRACE NANOČÁSTIC

Iktus

Název výzkumného úkolu:

Hodnocení nebezpečnosti nanočástic na pracovištích a možnosti prevence

Název provozu: Nábytek IKTUS, Zátor – Loučky

Termín měření: 8. 7. 2020

Počet zaměstnanců v celém provozu: 120

z toho u hlavního zdroje emisí: 30

Hodnoty naměřených koncentrací:

| Měřicí místo | Početní koncentrace částic [$\# \cdot \text{cm}^{-3}$] | Střední průměr částic |
|----------------------------|--|-----------------------|
| Hala 1 – CNC stroje | 50 000 – 250 000 | 35 nm |
| Hala 2 – fréza | 50 000 – 350 000 | 25 nm |
| Hala 3 – CNC stroje | 10 000 – 40 000 | 45 nm |
| Hala 4 – kotoučová pila | 50 000 – 200 000 | 20 nm |
| Metrostav – kotoučová pila | 50 000 – 400 000 | 15 nm |

Odhadnuté složení částic: dřevní prach, piliny

Toxicita nanočástic: převážně dráždivý účinek dřevního prachu, způsobující respirační onemocnění nebo alergické reakce; plísně, houby nacházející se ve dřevě; chemikálie

Hlavní technologie provozu: zpracovávání dřeva na CNC strojích (např. CNC formátovací pila, fréza), – vrtání, frézování, řezání;

Vedlejší technologie provozu: olepovací, kolíčkovací stroje, odsávací zařízení, lis, broušení/vyhlazování materiálu

Pomocné technologie provozu: zvedání materiálu, přesun materiálu, ruční manipulace s materiálem, zametání, úklid, obsluha ostatních strojů a přístrojů pro obrábění materiálu, větrání vzduchu

Hlavní zdroj emisí v provozu: vrtání, frézování, řezání na CNC strojích i dalších strojích a přístrojích, brousící práce, rozvířování prachu při úklidu nebo po dokončení daného úkonu, neefektivní nucené větrání vzduchu

Popis proudění vzduchu v provozu: odsávání u CNC strojů; větrání skrz okna,

ZAVEDENÁ OPATŘENÍ

| OPATŘENÍ | ANO | NE | Pozn. |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| Úprava přirozeného větrání na pracovišti | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Zavedené odsávání | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | u některých strojů chybí |
| Nucená filtrace vzduchu | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Instalace uzavřených boxů | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Instalace CNC strojů | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | modernizace, uzavřené CNC stroje |
| Dodržování principu opatrnosti | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Čistota v provozu | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | dlouhodobě neudržitelné v tomto typu provozu |
| Je dostatečná údržba? | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Dostatečné množství OOPP a OPDO | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | nedostatečné OPDO |
| Zajištění pracovnělékařské služby | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | již zavedeno |

Závěr

Diplomová práce se v teoretické části zabývala obecným seznámením s nanočásticemi a jejich rozdělením, nanotechnologiemi samotnými, a především zdůraznila dvojí pohled na celou problematiku této moderní technologie. Jedná se především o to, že ačkoli je přínos materiálů vyrobených jistou metodou využívající vlastnosti hmoty v nanorozměrech nezpochybnitelný, tak kromě širokého a praktického uplatnění napříč různými odvětvími sebou tyto částice nesou i své riziko. Vzhledem k nedostatečnému ukotvení celé této problematiky v soudobé legislativě jsou v této práci nastíněny a rozebrány možné scénáře a vývoje dlouhodobých účinků nanočástic na lidský organismus, které je nutno brát v úvahu nejen v podnicích, kde je vznik nanočástic cílem, ale především tam, kde vznikají jako nežádoucí odpad nebo při různých technologických procesech.

Cílem diplomové práce bylo nejen poukázat na obecnou problematiku, ale především se zaměřit na reálný provoz, ve kterém jsou pracovníci pravidelně a dlouhodobě vystavováni působení nanočástic. Byly vytipovány dva průmyslové podniky, jeden z oblasti strojírenství – Metrostav a.s. a druhý z odvětví dřevozpracujícího – výroba nábytku Iktus. Různorodý původ nanočástic je totiž také faktorem, který může značně ovlivnit jejich chování po proniknutí do lidského těla. V těchto podnicích byla prováděna měření početní koncentrace a střední průměr nanočástic jak v celkovém pracovním prostředí, tak především v místech, kde probíhaly konkrétní činnosti jako svařování, broušení, řezání nebo práce se stroji. Výsledky jednotlivých měření byly poté znázorněny v jednotlivých grafech a zaneseny do kontrolního listu z měření. V případě podniku Metrostav došlo díky provedeným měřením k odhalení nefunkčního systému cirkulace vzduchu, kde docházelo pouze k promísení vzduchu, ale nikoli k dostatečnému odvodu znečištěného vzduchu. Pozitivním výsledkem však bylo, že firma přislíbila finanční investici pro vyřešení tohoto problému. V nábytkářské firmě Iktus měření prozradila, že ačkoli byla u dřevozpracujících strojů dostupná zakrytování nebo odsávání, docházelo v jejich přítomnosti k vysokým koncentracím nanočástic a bylo by vhodné zvážit modernizaci těchto strojů, či jejich nahrazení CNC stroji, které jsou zakrytované celé a umožňují dokonalejší odvod pilin a dřevného prachu. V obou podnicích bylo dále zjištěno, že pracovníci nemají k dispozici dostatečné ochranné pracovní prostředky, především ochranné prostředky dýchacích cest, které by značně eliminovaly inhalaci nanočástic při stávajícím stavu obou provozů. Dále byl

proto vyhotoven návrh na poskytnutí OOPP v prostředí s rizikem výskytu nanočástic dle certifikované metodiky Ministerstva práce a sociálních věcí, avšak jedná se pouze o návrh nebo doporučení, samotná realizace už pak závisí na samotných podnicích. Je totiž především v zájmu zaměstnavatelů samotných pečovat o zdraví svých zaměstnanců a zajistit tím co možná nejméně rizikový a co nejvíce stabilní provoz.

Na závěr je vhodné zdůraznit, že klíčovou vlastností nanočástic je, jak již jejich název napovídá, jejich velikost. Díky tomu, že jsou lidskému oku za běžných podmínek neviditelné, nemusí jím být přikládána dostatečná pozornost. Ovšem dlouhodobá expozice takovým částicím může v případě nedostatečné ochrany dýchacího ústrojí způsobovat závažná onemocnění, či vést až k nemocem z povolání s nevratnými důsledky.

Seznam grafů

| | |
|--|----|
| Graf 1: Početní koncentrace částic při okruhu napříč halami | 26 |
| Graf 2: Střední průměr částic při okruhu napříč halami | 26 |
| Graf 3: Početní koncentrace částic u otvoru do segmentu | 27 |
| Graf 4: Střední průměr částic u otvoru do segmentu | 28 |
| Graf 5: Početní koncentrace částic v blízkosti svářeče | 29 |
| Graf 6: Střední průměr částic při měření v blízkosti svářeče | 29 |
| Graf 7: Početní koncentrace částic u svářeče na segmentu mostu Pirna | 30 |
| Graf 8: Střední průměr částic při svařování | 30 |
| Graf 9: Početní koncentrace částic při broušení a při následnému svařování | 31 |
| Graf 10: Střední průměr částic při broušení a následnému svařování | 31 |
| Graf 11: Početní koncentrace částic při okruhu napříč halami – den druhý | 32 |
| Graf 12: Střední průměr částic při okruhu napříč halami – den druhý | 32 |
| Graf 13: Porovnání početní koncentrace částic při okruhu v prvním a druhém dni | 33 |
| Graf 14: Porovnání středních průměrů částic | 33 |
| Graf 15: Početní koncentrace částic u 1. vyústění nuceného větrání | 35 |
| Graf 16: Střední průměr částic u 1. vyústění nuceného větrání | 35 |
| Graf 17: Početní koncentrace částic u 2. vyústění nuceného větrání | 35 |
| Graf 18: Střední průměr částic u 2. vyústění nuceného větrání | 36 |
| Graf 19: Srovnání početní koncentrace částic dvou průtahů nuceného větrání | 36 |
| Graf 20: Srovnání středních průměrů částic dvou průtahů nuceného větrání | 37 |
| Graf 21: Početní koncentrace částic v prostoru haly 1 | 38 |
| Graf 22: Střední průměr částic v prostoru haly 1 | 39 |
| Graf 23: Početní koncentrace částic v prostoru haly 2 | 39 |
| Graf 24: Střední průměr částic v prostoru haly 2 | 39 |
| Graf 25: Početní koncentrace částic v prostoru haly 3 | 40 |
| Graf 26: Střední průměr částic v prostoru haly 3 | 40 |
| Graf 27: Početní koncentrace částic v prostoru haly 4 | 40 |
| Graf 28: Střední průměr částic v prostoru haly 4 | 41 |
| Graf 29: Početní koncentrace částic při práci na stolní kotoučové pile | 43 |
| Graf 30: Střední průměr částic při práci na stolní kotoučové pile | 44 |

Použitá literatura

1. SCHULENBURG, Mathias. *Nanotechnologie: Inovace pro zítřejší svět* [online]. Kolín: Spolkové ministerstvo pro vzdělávání a výzkum (BMBF), Berlín, 2007 [cit. 2021-02-26]. ISBN 92-79-00879-X. Dostupné z: http://www.nanotechnologie.cz/storage/nanotechnology_bat_cs.pdf
2. SKŘEHOT, Petr a Marcela RUPOVÁ. *Nanobezpečnost*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2011. ISBN 978-80-86973-89-0.
3. HULLA, JE, SC SAHU a AW HAYES. Nanotechnology. *Human & Experimental Toxicology* [online]. 2015, **34**(12), 1318-1321 [cit. 2021-02-26]. ISSN 0960-3271. Dostupné z: doi:10.1177/0960327115603588
4. ROUPCOVÁ, Petra, Stanislav LICHOROBIEC, Karel KLOUDA, Lucie BEDNÁŘOVÁ a Lucie GEMBALOVÁ. Analysis of the way to increase safety in terms of possible inhalation of nano and microparticles during gun shooting. *NANOCON 2018 - Conference Proceedings*. 2019, 572-577.
5. EU. Doporučení komise o definici nanomateriálu ze dne 18. října 2011. 20. říjen 2011
6. SIROVÁTKA, J. *Měření částic prachu menších než 10 µm v pracovním ovzduší v dopravě s ohledem na fytoxicitu částic*. Ostrava, 2018. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství.
7. LUSTYK, K.: *Expozice jemným a ultrajemným částicím při kouření a porovnání použitých měřících technik*. Diplomová práce. Ostrava, 2018. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
8. FERRARI, Mauro. Cancer nanotechnology: opportunities and challenges. *Nature Reviews Cancer* [online]. 2005, **5**(3), 161-171 [cit. 2021-02-28]. ISSN 1474-175X. Dostupné z: doi:10.1038/nrc1566
9. NOHAVICA, Dušan. *Rizika nanomateriálů a nanotechnologií pro lidské zdraví a životní prostředí* [online]. 2011 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.ufe.cz/sites/default/files/Media/nohavica-rizika-nanomaterialu-2011.pdf>
10. KRZYŻANOWSKI, M. Quantification of health effects of exposure to air pollution. *Occupational and Environmental Medicine* [online]. 59(12), 791-793 [cit. 2021-02-28]. ISSN 13510711. Dostupné z: doi:10.1136/oem.59.12.791
11. FRIŠHANSOVÁ, Lenka a Karel KLOUDA. *Ambivalence nanočástic* [online]. Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v.v.i., Jeruzalémská 9, 116 52 Praha 1 [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/106160232-Ambivalence-nanocastic.html>
12. MOUNEYRAC, Catherine, Kristian SYBERG a Henriette SELCK. Ecotoxicological Risk of Nanomaterials. *Aquatic Ecotoxicology* [online]. Elsevier, 2015, 2015, s. 417-440 [cit. 2021-03-20]. ISBN 9780128009499. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-800949-9.00017-6
13. KLOUDA, K., KUBÁTOVÁ, H., VEČERKOVÁ, J.: *Záměrně vyráběné nanomateriály. Návrh metodiky řízení rizik při produkci a manipulaci s nimi*. Spektrum 1/2010, str. 41-45, ISSN 1211-6920
14. SAVOLAINEN, Kai, Harri ALENIOUS, Hannu NORPPA, Lea PYLKKÄNEN, Timo TUOMI a Gerhard KASPER. Risk assessment of engineered nanomaterials and nanotechnologies—A review. *Toxicology* [online]. 2010, **269**(2-3), 92-104 [cit. 2021-03-20]. ISSN 0300483X. Dostupné z: doi: 10.1016/j.tox.2010.01.013
15. COLVIN, Vicki L. The potential environmental impact of engineered nanomaterials. *Nature Biotechnology* [online]. 2003, **21**(10), 1166-1170 [cit. 2021-03-20]. ISSN 1087-0156. Dostupné z: doi:10.1038/nbt875

16. ROJEK, Lukáš. Legováním za lepšími vlastnostmi ocelí. *Top-armyshop.cz* [online]. 15. 2. 2019 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.top-armyshop.cz/magazin/legovanim-za-lepsimi-vlastnostmi-oceli>
17. Největší ocelová vrata se svařují v Metrostavu a v polovině roku 2020 se dopraví do Gabčíkova. *ČAOK – Česká asociace ocelových konstrukcí* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <http://www.caok.cz/aktualne/nejvetsi-ocelova-vrata-se-svaruji-v-metrostavu-a-v-polovine-roku-2020-se-dopravi-do-gabcikova>
18. P355NL2 Ocelová Deska. *GNEE – Professional Exported Steel Supplier* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <http://cz.coldrolledsteels.com/boiler-pressure-vessel-steel-plate/p355nl2-steel-plate.html>, 3,5. <http://m.cz.coldrolledsteels.com/boiler-pressure-vessel-steel-plate/en10023-3-p355nl2-pressure-vessel-steel.html>
19. ČESKO. Příloha č. 3 nařízení vlády č. 361/2007 Sb., nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2021 [cit. 17. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361#f3824604>
20. Zdravotní rizika dýmů ze svařování. *Plymovent* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <http://www.plymovent.cz/cs/zdravotni-rizika-dymu-ze-svarovani-1003>
21. HOUŠKOVÁ, Jana. *Aerosolové nanočástice produkované při obrábění dřeva*. Ostrava, 20. 4. 2012. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství. Vedoucí práce Karel Klouda.
22. Nejmenší přístroj pro měření nanočástic na světě – testo DiSCmini. *Testo* [online]. 2018 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.testo.com/cz-CZ/pristroje/nejmensi-pristroj>
23. Testo DiSCmini- Handheld Particle Counter. *IONER* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://ioner.eu/portfolio/discmini/>
24. *VA5_3 - Studie na základě terénních šetření k dané problematice: Hodnocení nebezpečnosti nanočástic na pracovištích a možnosti prevence*. Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v.v.i., Jeruzalémská 9, 116 52 Praha 1.
25. *Certifikovaná metodika pro poskytování osobních ochranných prostředků v prostředí s rizikem výskytu nanočástic*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i., Oddělení prevence rizik a ergonomie, listopad 2016. Dostupné také z: https://www.mpsv.cz/documents/20142/650267/Metodika_pro_poskytovani_OOP_v_prostredi_s_rizikem_vyskytu_nanocastic.pdf/11a006ee-2d29-efe9-c2f1-e0f471af5dcb